

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
École de Gestion

Essais sur l'économie comportementale et l'évaluation de biens environnementaux

Par
Mamour FALL

Thèse présentée à l'École de gestion
en vue de l'obtention du grade de
Philosophia Doctor (Ph.D.)
Économie du Développement

2021

© Mamour Fall, 2021

IDENTIFICATION DU JURY

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

École de Gestion

Essais sur l'économie comportementale et l'évaluation de biens environnementaux

Par

Mamour FALL

A été évaluée par un jury composé de personnes suivantes :

Pre Claudia Champagne

Présidente du jury

Pre Jie He

Directrice de recherche

Pre Nancy Gélinas

Co-directrice de recherche

Pre Caroline Boivin

Évaluatrice interne

Pr Patrick Richard

Évaluateur interne

Pre Mbolatiana (Tina) Rambonilaza

Évaluatrice externe

SOMMAIRE

L'objectif de cette thèse est d'évaluer le lien entre le comportement et le bien-être de l'individu et les politiques environnementales. La bonne connaissance des processus de décision de l'individu permet de développer des modèles d'évaluation dont la prédictibilité est plus proche de la réalité. Ma thèse est divisée en deux grandes parties. La première partie consiste d'une part à évaluer et cartographier la valeur l'esthétique de paysage et d'autre part à analyser l'impact de l'incertitude du répondant sur sa prise de décision. Plus particulièrement, du chapitre 1 au chapitre 4, nous visons, dans le cadre de l'analyse de la valeur de l'esthétique du paysage de la région de Charlevoix, à chercher les facteurs influençant la décision de l'individu en utilisant une enquête de choix expérimentaux sur 998 individus de la province du Québec. Le chapitre 1 cherche à évaluer les effets des photos illustrant les variations de niveaux des attributs dans les ensembles de choix sur la préférence de l'individu pour l'esthétique du paysage. Nous avons aussi testé l'impact des saisons sur les préférences et sur la volonté à payer pour améliorer l'esthétique du paysage. Le chapitre 2 vise à intégrer les valeurs de l'esthétique du paysage dans les politiques de planification forestière. En d'autres termes, nous avons cherché à déterminer les conséquences de l'interaction de l'esthétique du paysage avec les politiques sylvicoles (notamment les coupes forestières) et les zones touristiques. De ce fait, en nous appuyant sur la méthodologie de van Zanten *et al.* (2016), nous avons combiné les données SIG et les données de choix expérimentaux pour identifier les zones de paysages préférées par les répondants dans la région de Charlevoix, puis nous avons évalué les effets des coupes forestières et la présence des zones touristiques sur les zones de paysage à qualité visuelle élevée. Dans le chapitre 3, nous traitons de la question de l'incertitude dans les modèles de choix expérimentaux. En effet, durant l'évaluation du paysage, l'individu pourrait être incertain à cause du manque de connaissance ou de la non-familiarité du bien. Les littératures psychologiques et du jugement (Simon, 1955 ; Mousavi et Gigerenzer, 2017) montrent que l'individu serait contraint d'ignorer une partie de l'information pour faire un choix. Par conséquent, dans la méthode des choix

expérimentaux (Dekker *et al.*, 2016 ; Mattmann *et al.*, 2018), l'incertitude a pour conséquence l'imprécision des choix des répondants et de la VAP. Nous avons donc exploré le rôle de la non-considération des attributs (choix consistant à ignorer une partie des attributs) dans le lien entre l'incertitude et la décision. Le chapitre 4 est consacré aux conséquences de la complexité des ensembles de choix sur la précision des choix des individus (DeShazo et Fermo, 2004) dans l'évaluation de l'esthétique du paysage. Nous avons dans un premier temps identifié la complexité des ensembles de choix perçue par le répondant en lui proposant des questions de suivi à la fin des ensembles de choix, puis nous avons déterminé les facteurs affectant la complexité en se focalisant sur le rôle des images pour illustrer les ensembles de choix. Le chapitre 5 sera consacré à la deuxième partie de ma thèse visant à évaluer l'impact du prix du carbone sur le bien-être. Effectivement, la mise en place de politiques de changement climatique pourrait affecter le bien-être des populations surtout les plus vulnérables par la hausse des prix de l'électricité et l'augmentation du taux de chômage. Nous visons à connaître d'une part, les effets du prix du carbone sur le bien-être subjectif de la population européenne et d'autre part les politiques d'accompagnement visant à réduire l'impact négatif de ces politiques pour éviter des conflits sociaux.

TABLES DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xiii
REMERCIEMENTS	xiv
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PREMIER CHAPITRE : EFFETS DES IMAGES DANS L'ÉVALUATION DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE : UNE ÉTUDE DE CHOIX EXPÉRIMENTAUX DANS LA RÉGION DE CHARLEVOIX.....	10
1. INTRODUCTION	10
2. MÉTHODES DES CHOIX EXPÉRIMENTAUX	14
2.1. MODÉLISATION ÉCONOMÉTRIQUE	14
2.2. EFFETS DE LA PRÉSENCE DE PHOTOS ET DE LA COULEUR DES PHOTOS SUR LA PRÉFÉRENCE DES INDIVIDUS POUR L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE	16
2.3. TEST D'ÉGALITE DES PRÉFÉRENCES SUR L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE DES INDIVIDUS SELON L'ILLUSTRATION DU PAYSAGE PAR DES PHOTOS ET LA COULEUR DES PHOTOS.....	18
3. ENQUÊTE ET DONNÉE	20
3.1. ZONE D'ÉTUDE	20
3.2. DONNÉES.....	21
4. EFFETS DES PHOTOS SUR LES PRÉFÉRENCES DES INDIVIDUS ET SUR LES CHOIX	28
4.1. TEST DE COMPARAISON DES MOYENNES ENTRE L'ÉCHANTILLON DE CONTRÔLE ET LES ÉCHANTILLONS DE TRAITEMENT.....	28
4.2. RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE.....	30
4.3. EFFET DES PHOTOS SUR LA PRÉFÉRENCE DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE 33	
4.4. TEST D'ÉGALITE DES PRÉFÉRENCES ENTRE LE GROUPE DE CONTRÔLE ET LES GROUPE DE TRAITEMENTS.....	38
4.5. VAP DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE	40
4.6. ROBUSTESSE SUR LE CALCUL DE LA VAP : MÉTHODE DE TRAIN ET AL. (2005) (« WTP SPACE »).	45
5. CONCLUSION.....	47

DEUXIÈME CHAPITRE : CARTOGRAPHIE DE LA VALEUR DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE DANS LES MODÈLES DE CHOIX DISCRET DANS LA RÉGION DE CHARLEVOIX (QUÉBEC) 49

1. INTRODUCTION	49
2. ZONE D'ÉTUDE.....	53
2.1. ÉTAT DE PLAN D'AMÉNAGEMENT FORESTIER (2013 – 2018)	55
2.2. OBJECTIF DE LA PLANIFICATION FORESTIÈRE.....	55
3. MÉTHODE DES CHOIX EXPÉRIMENTAUX	56
4. MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DE LA VALEUR DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE.....	57
4.1. CORRESPONDANCE ENTRE LES INFORMATIONS SIG ET LES NIVEAUX DES ATTRIBUTS	62
4.2. DÉTERMINATION DU NIVEAU DES ATTRIBUTS POUR CHAQUE UNITÉ DU PAYSAGE	67
4.3. REPRÉSENTATION SPATIALE DES 54 POSSIBLES SCÉNARIOS	70
4.4. COMPARAISON DE LA VALEUR DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE AVEC LES POLITIQUES FORESTIÈRES ACTUELLES	72
4.5. ANALYSE DE SENSIBILITÉ.....	78
5. CONCLUSION.....	81

TROISIÈME CHAPITRE : LIEN REVISITÉ ENTRE LA CERTITUDE ET LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS 83

1. INTRODUCTION.....	83
2. CERTITUDE DANS LA LITTÉRATURE DES PRÉFÉRENCES DÉCLARÉES 88	
3. LIEN ENTRE CERTITUDE ET NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS 89	
4. IDENTIFICATION DE LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS ET DE LA CERTITUDE.....	95
5. CORRÉLATION ENTRE LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS ET LE NIVEAU DE CERTITUDE DES RÉPONSES	98
6. IMPACT DE LA CERTITUDE AU TRAVERS D'UN NOMBRE RESTREINT D'ATTRIBUTS SUR LA PRÉCISION DES DÉCISIONS.....	102
6.1. MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE.....	102
6.2. RÉSULTATS	106
7. CRÉDIBILITÉ DES RÉPONSES CERTAINES SELON LA VARIABILITÉ DU NIVEAU DE CERTITUDE ET LA FRÉQUENCE DE NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS	110

8. IMPACT DE LA CERTITUDE SUR LE DEGRÉ DE PRÉCISION DES RÉPONSES SELON LA RAISON DE LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS	116
9. IMPACT DE LA CERTITUDE SUR LA VAP	120
10. CONCLUSION	123
QUATRIÈME CHAPITRE : EFFETS DES PHOTOS SUR LES PRÉFÉRENCES DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE ET SUR LA PERCEPTION DE LA COMPLEXITE DANS UN MODÈLE DE CHOIX EXPÉRIMENTAUX	125
1. INTRODUCTION	125
2. REVUE DE LITTÉRATURE.....	127
2.1. LA COMPLEXITE DANS LES CHOIX EXPÉRIMENTAUX	127
2.2. LIEN ENTRE COMPLEXITÉ ET PHOTO	129
3. IDENTIFICATION DE LA COMPLEXITÉ	129
4. DETERMINANTS DE LA COMPLEXITÉ	134
5. IMPACT DE LA PERCEPTION DE LA COMPLEXITÉ SUR LA PRECISION DES CHOIX DES REpondANTS	136
6. CONCLUSION	140
CINQUIÈME CHAPITRE : LES EFFETS DU SIGNAL DE PRIX DU CARBONE SUR LE BIEN-ÊTRE SUBJECTIF	142
1. INTRODUCTION	142
2. PRIX DU CARBONE : THEORIE	145
3. DONNÉES	148
3.2 SIGNAL DU PRIX DU CARBONE	148
3.3 SATISFACTION À LA VIE.....	155
3.4 VARIABLES MICROÉCONOMIQUES	158
3.5 VARIABLES MACROÉCONOMIQUES	159
4. IMPACT DU SIGNAL DU PRIX DU CARBONE SUR LE BIEN-ÊTRE INDIVIDUEL.....	161
4.1 STRATÉGIE EMPIRIQUE	161
4.2 RÉSULTATS DE BASE	163
4.3 TEST DE LA NON-LINÉARITE DU PRIX DU CARBONE	165
5.....	ROBUSTESSE
.....	166

6.....	EFFETS SUR LE BIEN-ÊTRE DU PRIX DU CARBONE POUR LES PERSONNES OU SECTEURS VULNERABLES ET POLITIQUES D'ACCOMPAGNEMENT.....	171
6.2	STRATÉGIE EMPIRIQUE	171
6.3	RÉSULTATS	173
7	CONCLUSION	182
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	184
	RÉFÉRENCES.....	188
	ANNEXES A – CHAPITRE 1 : TEST « PLACEBO »	210
	ANNEXES B – DÉTAILS TECHNIQUES DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ESTHETIQUE DU PAYSAGE	212
	ANNEXE C – DIAGRAMME DU MODÈLE STRUCTUREL DE L'INTÉRACTION ENTRE LA NON-CONSIDERATION DES ATTRIBUTS ET L'INCERTITUDE SUR LA DÉCISION	223
	ANNEXE D - DESCRIPTION DES DONNÉES DU PRIX DU CARBONE ET DE LA SATISFACTION À LA VIE	224

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Statistiques descriptives	27
Tableau 2: Test de comparaison des échantillons selon les caractéristiques sociodémographiques.....	29
Tableau 3: Résultats de l'évaluation de l'esthétique du paysage (échantillon global).	31
Tableau 4: Évaluation de l'esthétique du paysage : effets de la photo	34
Tableau 5: Évaluation de l'esthétique du paysage : effets des saisons.....	36
Tableau 6: Test d'égalité de préférences des individus entre le groupe de contrôle et le groupe de traitement.....	39
Tableau 7: VAP des attributs de l'esthétique du paysage (modèle de logit multinomial).....	41
Tableau 8: VAP des attributs de l'esthétique du paysage (modèle de logit à coefficients aléatoires)	42
Tableau 9: Volonté à payer pour l'amélioration de l'esthétique du paysage.....	46
Tableau 10: Probabilités simulées pour choisir une alternative parmi toutes les alternatives possibles.....	60
Tableau 11: Statistiques descriptives moyennes par unité de paysage	65
Tableau 12: Correspondance entre le niveau des attributs et les indicateurs spatiaux	67
Tableau 13: Proportion des individus selon la raison de la non-considération des attributs.....	98
Tableau 14: Distribution de la fréquence de considération des attributs selon le niveau de certitude.....	101
Tableau 15: Groupe de certitude et raison de la non-considération des attributs	101
Tableau 16: La non-considération des attributs dans le modèle de choix.....	107
Tableau 17 : La non-considération des attributs dans les modèles de choix séquentiel et structurel.....	109
Tableau 18: Effet du niveau de certitude et de la non-considération des attributs sur la précision des choix.....	111
Tableau 19: Précision des réponses certaines selon la fréquence de non-considération des attributs	115
Tableau 20: Impact de la certitude sur la cohérence des choix selon les raisons de la non-considération des attributs	118
Tableau 21 : Volonté à payer pour l'amélioration de l'esthétique du paysage (différence par rapport au modèle de base).....	122
Tableau 22: Nombre répondants selon les raisons de non-considérations des attributs	131
Tableau 23: Tableau croisé du type de photo et de la complexité des ensembles de choix.....	131
Tableau 24 : Test de comparaison de moyenne selon les variables sociodémographiques.....	132
Tableau 25: Déterminants de la complexité modèle de probit.....	135
Tableau 26: Résultat du modèle GMNL : impact de la perception de la complexité sur la précision des choix.....	139
Tableau 27: Juridiction avec prix du carbone	150

Tableau 28: Statistiques descriptives	160
Tableau 29: Effet du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif	164
Tableau 30 : Effet non linéaire du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif	166
Tableau 31: Effet du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif : standardisation de la satisfaction à la vie	168
Tableau 32: Effet du signal du prix du carbone sur le bien-être : variables additionnelles	169
Tableau 33: Politiques d'accompagnement pour réduire le coût du signal du carbone sur le bien-être subjectif	174
Tableau 34: Évaluation de l'esthétique du paysage : « effet placebo »	211
Tableau 35: Description des variables et source des données	226

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Représentation géographique de la zone d'étude	21
Figure 2: Représentation graphique des attributs.....	23
Figure 3 : Photo présentée à chaque répondant est de Baie-Saint-Paul à Charlevoix.	25
Figure 4: Un exemple d'ensemble de choix.....	26
Figure 5 : Volonté à payer pour améliorer les attributs du paysage.....	45
Figure 6: Unité d'aménagement forestier et site d'étude pour la période 2013 – 2018	54
Figure 7: Unités de paysage de la région forestière de Charlevoix (1km x 1km).....	57
Figure 8 : Processus d'association entre les données géospatiales et les unités de paysage.....	63
Figure 9: Histogramme des indicateurs spatiaux utilisés comme proxy des attributs du paysage.....	66
Figure 10 : Un exemple d'analyse de voisinage en utilisant la moyenne des cellules	68
Figure 11: Distribution spatiale des attributs du paysage (analyse focale).....	69
Figure 12: Valeur de l'esthétique du paysage : site d'étude	71
Figure 13: Valeur de l'esthétique du paysage : unité d'aménagement forestier	73
Figure 14: Relation spatiale entre la valeur de l'esthétique du paysage et les politiques d'intervention sylvicoles.	74
Figure 15: Histogramme de la superficie des interventions sylvicoles dans les zones à qualité visuelle élevée	75
Figure 16: Interaction spatiale entre la valeur de l'esthétique du paysage et les zones touristiques.	76
Figure 17 : Test de robustesse avec ou sans photo.....	78
Figure 18: Surface totale des zones à qualité visuelle élevée selon le niveau de significativité.....	80
Figure 19: Niveau de certitude et fréquence de non-considération des attributs	96
Figure 20: Corrélation entre la non-considération des attributs et la probabilité de certitude des choix.....	99
Figure 21: Effet du niveau de certitude sur la proportion de la non-considération des attributs.....	100
Figure 22: Impact de la certitude sur le paramètre d'échelle	112
Figure 23: Pourcentage d'émissions de CO2 couvertes par les taxes carbone et les permis d'émission	151
Figure 24: Corrélation entre le taux de couverture moyenne d'émission et la quantité de CO2 émises.....	152
Figure 25 : Prix effective du carbone par secteur pour les années 2012 et 2015	153
Figure 26: Distribution du prix du carbone entre 2012 et 2015	154
Figure 27: Émissions de CO2 et prix du carbone	155
Figure 28: Distribution de la satisfaction de la vie dans l'échantillon.....	157
Figure 29: Distribution de la satisfaction de la vie par pays entre 2012 et 2015	158
Figure 30: Effet marginal du signal du prix du carbone sur la satisfaction à la vie conditionnelle au taux de chômage national.	175
Figure 31: Effet conditionnel du taux d'endettement sur le prix du carbone.....	177

Figure 32: Effet marginal du signal du prix du carbone sur la satisfaction à la vie conditionnelle au degré d'ouverture du compte de capital.....	179
Figure 33: Effet marginal du signal du prix du carbone sur la satisfaction à la vie conditionnelle au degré de développement financier	181
Figure 34: Cartographie de Charlevoix et de Charlevoix-Est.....	212
Figure 35: Protocole de la combinaison entre les données de la méthode des choix expérimentaux et les données géospatiales.	213
Figure 36: Unité de paysage et scénario	215
Figure 37: Distribution spatiale des scénarios dans la zone d'étude.....	216
Figure 38: Valeur de l'esthétique du paysage dans la zone d'étude : avec photo.....	217
Figure 39: Valeur de l'esthétique du paysage dans la zone d'étude : sans photo	217
Figure 40: Valeur de l'esthétique du paysage: avec photo été.....	218
Figure 41: Valeur de l'esthétique du paysage : avec photo d'automne	218
Figure 42: Historique des interventions sylvicoles dans les zones visuelles préférées par les répondants.....	219
Figure 43: Valeur de l'esthétique du paysage : effet des perturbations naturelles....	221
Figure 44: Test de robustesse avec photo d'été et avec photo d'automne	222
Figure 45: Modèle structurel captant l'interaction entre incertitude et la non-considération des attributs	223
Figure 46: Corrélation entre production d'électricité provenant d'énergie fossile et prix du carbone.....	224
Figure 47: Corrélation entre la valeur ajoutée de l'industrie et prix du carbone	225
Figure 48: Corrélation entre le taux de chômage et le prix du carbone	227

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

VAP : Volonté à Payer

GMNL: Generalized Multinomial Logit

RUM: Random Utility Model

CO₂ : Dioxide de carbone

MCO : Moindres carrées ordinaires

ha : hectare

ESS : European Social Survey

FMI : Fonds Monétaire International

OCDE : Organisation de coopération et de développement économique
BM : Banque Mondiale

km² : Kilomètre carré

t : Tonne

UA : Unité d'aménagement

MFFP : Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

RPL : modèle logit de coefficients aléatoires

MNL : modèle de logit multinomial

SHDI : index de Shannon

ED : Edge density

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont aux membres du comité de Thèse. Je voudrais remercier particulièrement mes deux directrices de thèse, les professeures Nancy Gélinas et Jie He. Je voudrais vous témoigner ma plus grande gratitude et mes remerciements de toujours me pousser vers l'excellence en me donnant les moyens matériels et financiers pour réaliser cette thèse. Jie He m'a beaucoup appris sur les modèles de bien non marchands et m'a surtout donné la possibilité et la liberté de réaliser mon propre sujet de thèse. Elle m'a aidé et soutenu tout au long de mon parcours tout en demeurant disponible pour lire mes travaux malgré son emploi du temps chargé. Nancy Gélinas m'a donné la possibilité de réaliser un sujet de recherche passionnant et enrichissant en m'intégrant dans le projet pour l'évaluation de l'esthétique du paysage. Elle m'a donné tous les moyens financiers, matériels et humains pour réaliser mes travaux. Elle a été toujours disponible pour m'aider à comprendre mon sujet qui au début ne m'était pas familier. Ce projet m'a permis de voyager à travers le Québec. J'ai découvert les villes comme La Malbaie, Saint-Siméon, Gaspésie, etc. Ces voyages ont été enrichissants dans la découverte du Québec et dans la compréhension des enjeux de notre étude. Je vous remercie. Je témoigne ma gratitude au Fonds de Recherche du Québec-Nature et Technologie (FQRNT) et à l'école de Gestion qui ont financé ma thèse et les enquêtes que j'ai pu effectuer. Je remercie aussi tous les membres de notre projet qui ont contribué directement ou indirectement à ma thèse en me donnant d'excellents conseils sur les choix des attributs du paysage (Prs Steve Dery, Alison Munson, Hirondelle Varady-Szabo). Mentions spéciales à Antony Kerebel qui m'a aidé à comprendre les systèmes d'information géographique et à Mylène Savard qui m'a aidé à la réalisation du questionnaire et de l'enquête en ligne et sur le terrain. Je remercie aussi Pre Kim Lehrer dans la compréhension de la littérature sur l'incertitude et Pr Patrick Richard dans la maîtrise des modèles économétriques. Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance aux professeures Caroline Boivin et Mbolatiana Rambonilaza d'avoir accepté de lire ma thèse et d'être des membres du jury.

Mes remerciements iront aussi aux membres du Groupe de Recherche en économie et Développement International (GRÉDI) et du département d'économie de Sherbrooke qui ont contribué par des échanges, des séminaires de recherche et par la fourniture des moyens logistiques pour faire mon enquête de terrain (Prs Jean-François Rouillard, Martino Pelli, Valérie Vierstraete, Johnatan Goyette, Luc Savard). Je remercie également mes amis doctorants et les membres de l'association des étudiants de doctorat en économie du développement pour les échanges intéressants (Wilfried, Christian, Nathalie, Aminata, Armelle, Boubacar, Maurice). Mentions spéciales à Kodjovi Eklou, Adrien Corneille et Philippe Kabore qui ont contribué grandement à ma thèse par leur soutien et leurs conseils.

Je remercie aussi les chercheurs externes qui ont contribué à mes chapitres à travers les séminaires (CANSEE, TPPE, CEA, SCSE etc) et aux membres des groupes de paroles dans les régions de la Gaspésie et de Charlevoix pour la présentation de mes résultats sur la valeur de l'esthétique du paysage et l'identification des attributs du paysage.

Mes derniers remerciements vont à ma chère et tendre famille et à mes amis. Je remercie ma mère et mon père qui m'ont toujours aidé dans mes études, mes sœurs Marième, Caroline FALL et mon frère Kader, ma future femme Mbayang Ba et enfin mes amis Mouhamed Fall, Pape Moussa Ndour, Joachim Diouf, Babacar Wade, Cheikh Thiane, Momar Dia, Fatoumata Diallo, Cheikh Kane, Aminata Kane et Demba Dia. Je vous dédicace ma thèse.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La pollution et la forte utilisation des ressources naturelles sont une menace pour l'environnement. Cependant, la dégradation des ressources naturelles n'est pas entièrement prise en compte par les décideurs publics puisque la plupart des biens environnementaux sont non marchands. Notre défi est donc de quantifier économiquement la dégradation des biens environnementaux pour qu'elle soit intégrée pleinement dans les outils de décisions. Il est alors nécessaire repenser les politiques environnementales pour qu'elles soient proches des préférences de la population afin de mieux comprendre l'acceptabilité sociale de ces politiques.

Ma thèse s'intéresse à faire une évaluation économique de l'esthétique du paysage et de l'impact des politiques de lutte contre les émissions de carbone sur le bien-être des individus.

Dans la première partie de la thèse, nous allons procéder à l'évaluation de l'esthétique du paysage dans la région de Charlevoix en utilisant la méthode des choix expérimentaux issue des modèles de préférences déclarées. Cette région largement forestière est connue pour la beauté de leur paysage. La préservation du paysage est un enjeu important pour la pérennisation des ressources économiques tirées des activités touristiques. L'intégration de la valeur de l'esthétique du paysage dans les stratégies de planification forestière est nécessaire pour visualiser et quantifier les conséquences des politiques sylvicoles et les effets des infrastructures routières et touristiques sur l'esthétique du paysage.

Concernant les politiques de lutte contre les changements climatiques, nous constatons que les méthodes d'évaluation de préférence déclarée ne sont pas adéquates pour évaluer les effets négatifs du changement climatique sur la population. En effet, la VAP issue de ces méthodes pour la réduction des émissions de carbone présente deux inconvénients (Group *et al.*, 2013) : 1) elle est sensible à la richesse de l'individu

et du pays 2) elle n'inclut pas d'autres externalités négatives futures grandissantes du réchauffement climatique (pollution de l'air, nombre de morts à cause des catastrophes naturelles). De plus, les émissions de carbone constituent probablement l'enjeu mondial le plus important dans les prochaines décennies donc il faudrait établir un prix uniformisé pour éviter les compétitions déloyales. Le prix du carbone est donc le principal instrument pour la réduction des gaz à effet de serre. Il est déterminé en fonction du coût social du carbone c.-à-d. la valeur monétaire actualisée des dommages associés à une hausse supplémentaire des émissions de carbone par année. Il est évalué entre 50 et 100 dollars d'ici 2030 pour atteindre les objectifs de l'Accord Paris sur le Climat afin de limiter la hausse des températures à moins de 2 °C (Stiglitz *et al.*, 2017). Cependant, la majorité des pays n'ont pas encore atteint les objectifs de l'Accord de Paris sur le Climat (Ramstein *et al.*, 2019). Toutefois, l'accélération de la hausse du prix du carbone pourrait susciter des conflits sociaux et une baisse de bien-être surtout parmi les populations les plus vulnérables. Dans la deuxième partie de ma thèse, nous allons évaluer l'impact de la hausse du prix du carbone sur le bien-être subjectif. Nous allons déterminer les politiques macroéconomiques d'accompagnement atténuant la hausse du prix du carbone sur le bien-être afin de garantir le succès des politiques environnementales pour réduction des émissions de carbone. La thèse est divisée en cinq principaux chapitres pour regrouper les différentes thématiques de recherche :

Dans le premier chapitre, nous cherchons à évaluer l'impact d'un support visuel illustrant les scénarios hypothétiques d'amélioration de l'esthétique du paysage sur la préférence d'un individu par rapport aux scénarios décrits uniquement par un texte. De plus, nous testons aussi le rôle des saisons sur la prise de décision concernant l'amélioration de l'esthétique du paysage. Nos questions de recherche s'articulent autour des problématiques suivantes : Quelle est la VAP associée à chaque attribut de l'esthétique du paysage pour un individu représentatif de la province du Québec ? Quelles sont les effets des photos et des saisons sur la préférence de l'individu pour l'esthétique du paysage dans la région de Charlevoix ? En quoi les photos et les saisons affectent les VAP ?

Pour répondre à ces questions, nous avons mené une enquête de choix expérimentaux sur 998 répondants représentatifs de la province du Québec. Dans chaque questionnaire, l'individu doit choisir entre une option correspondant à la détérioration de situation actuelle et deux autres options sur les politiques de traitement sylvicole visant à améliorer l'esthétique du paysage. Les attributs du paysage sont déterminés à l'aide de deux groupes de paroles réunissant des experts et par la littérature. De plus, nous testons également l'effet des photos sur le choix des répondants en administrant des questionnaires de choix expérimentaux avec des stratégies d'échantillonnage fractionné dans lequel 20% des répondants n'ont reçu que des questionnaires dans lequel les scénarios sont simplement expliqués par un texte, tandis que les 80% restants en ont reçu une illustration virtuelle des scénarios de l'esthétique du paysage à évaluer. Parmi les 80% des personnes interrogées qui ont reçu des illustrations virtuelles, la moitié a reçu des photos prises en automne et l'autre moitié des photos prises en été. En utilisant un modèle de logit à coefficients aléatoires (RPL) où les préférences des individus sont considérées comme hétérogènes, nos résultats révèlent que les photos réduisent les préférences des individus pour l'esthétique du paysage. Ces résultats montrent que les individus surestiment leurs préférences de l'esthétique du paysage lorsque cette dernière est décrite uniquement par un texte. Nous avons aussi montré que la photos prise en automne améliorent l'appréciation de l'esthétique du paysage par les répondants par rapport à la photo prise en été. En effet, dans un contexte de paysage forestier, les couleurs d'automne permettent d'améliorer la beauté du paysage via la mosaïque des éléments du paysage et la couleur des arbres. De ce fait, le choix de photo peut influencer la cartographie de la valeur de l'esthétique du paysage.

Dans le deuxième chapitre, nous visons à aider à la préservation de l'esthétique du paysage dans la région de Charlevoix qui est une source de développement économique. Cette région étant principalement forestière, la préservation de l'esthétique du paysage passerait par son intégration dans les stratégies de planification forestière. Ainsi, nous allons répondre à ces questions de recherches suivantes :

Comment pourrions-nous les intégrer sur une carte correspondant à une unité d'aménagement forestière ? En quoi les zones récréatives et les traitements sylvicoles pourraient affecter les unités de paysage préférées des répondants en terme méthodologique ? Quels sont les impacts des photos sur l'identification de ces unités à qualité visuelle ? Afin de cartographier les VAP des répondants pour l'amélioration de la valeur de l'esthétique du paysage, nous avons combiné la méthode des choix expérimentaux et les données de système d'information géographique (van Zanten *et al.*, 2016) pour identifier sur la carte de la région les zones de la région d'étude préférées par les répondants. Nous avons visualisé les interactions entre les zones récréatives et les zones préférées par la population. Nous avons trouvé que 15% des zones récréatives se trouvent dans les zones préférées (Casado-Arzuaga *et al.*, 2013). De plus, nous avons répété cet exercice en faisant l'interaction entre les zones préférées par les répondants et les zones affectées par les traitements sylvicoles. Nous avons trouvé qu'il a très peu de coupes totales dans les zones préférées par les répondants (Pâquet et Bélanger, 1998 ; Pâquet et Bélanger, 1997). Ainsi, dans les politiques de planification forestière, l'identification des zones de paysage préférées par les répondants est nécessaire pour adapter les politiques sylvicoles. Enfin, nous avons aussi testé l'impact de la présentation des ensembles de choix à l'aide des photos dans le processus d'évaluation de l'esthétique du paysage. Cette question de recherche est reliée à la littérature qui démontre que l'illustration des ensembles de choix par une photo dans la méthode des choix expérimentaux facilite la compréhension des attributs par le répondant ce qui améliore la précision de la VAP (Patterson *et al.*, 2017 ; He et Gao, 2015 ; Jonker *et al.*, 2019). Nos résultats sur la cartographie restent robustes avec ou sans photo pour illustrer les changements du paysage dans le modèle multi-attribut.

La contribution de cette étude peut être résumée en deux aspects. Le premier est relatif à l'amélioration des outils d'aide à la décision dans la région d'étude en fournissant une cartographie des zones préférées par les répondants. La deuxième contribution est d'ordre méthodologique. En effet, nous avons associé les systèmes de traitement géographiques (SIG) et les données des choix expérimentaux pour trouver

la valeur du paysage expérimenté par le répondant. Cette évaluation tient compte de la valeur subjective du paysage. De plus, notre méthodologie est robuste à la mise en place ou non des photos. Ce résultat est très important dans la mesure où dans les modèles standards, un choix erroné de la photo du site d'étude pourrait biaiser les résultats (Hurtubia *et al.*, 2015).

Cependant, lors de l'évaluation de l'esthétique du paysage, l'individu pourrait avoir une connaissance limitée sur le bien en question et les attributs de l'esthétique du paysage. Par conséquent, cet individu pourrait être incertain de ses choix à cause de la non-familiarité avec le bien. Dans les modèles de choix expérimentaux, l'individu incertain fait par hypothèse plus de choix aléatoires (Dekker *et al.*, 2016 ; Mattmann *et al.*, 2018 ; Regier *et al.*, 2019). Les réponses incertaines ont une faible valeur informative pour le chercheur dans le calcul de la VAP. Dans la littérature psychologique, l'incertitude contraint les individus à s'adapter en limitant ou en ignorant la quantité d'information lors de sa prise de décision. La non-considération des attributs a des conséquences statistiques dans les modèles de choix expérimentaux sur la validation de l'axiome de continuité de la fonction d'utilité. Techniquement, le taux marginal de substitution et la VAP marginale ne sont pas calculables lorsqu'une partie des attributs n'est considérée par l'individu.

Nos questions de recherche s'articulent dans le chapitre 3 de la manière suivante : quels sont les liens entre la non-considération des attributs et le niveau de certitude ? Quelles sont les conséquences de l'incertitude sur la décision selon la non-considération des attributs ? Quels sont les impacts de l'incertitude et de la non-considération des attributs sur la VAP pour l'amélioration de l'esthétique du paysage ? Pour répondre à cette question, nous avons identifié dans notre questionnaire le niveau certitude du répondant après chaque ensemble de choix et la fréquence de non-considération des attributs. Pour la première fois dans la littérature, nous avons utilisé un modèle à variance hétérogène où la non-considération des attributs et l'incertitude sont les variables explicatives de la différence de variance du terme d'erreur entre les

individus. Nous avons d’abord validé les conclusions de la littérature précédente sur l’incertitude (Regier *et al.*, 2019) en l’occurrence les individus les plus certains considèrent le plus souvent les attributs. Par conséquent, ils font moins d’erreurs ou de choix aléatoires. Notre contribution s’articule plutôt sur la connexion simultanée entre la fréquence de non-considération des attributs et la certitude pour prédire correctement le niveau de précision des réponses du répondant. Plus précisément, nous avons démontré que les individus certains qui n’ont pas considéré les attributs font des réponses aléatoires. Ce résultat nous renseigne que, contrairement aux hypothèses de la littérature standard sur la certitude, la précision des choix du répondant dépend simultanément de son niveau de certitude et de la fréquence de non-considération des attributs. En particulier, nous montrons que le niveau de certitude est une variable informative sur la précision des choix du répondant si les individus considèrent toujours les attributs.

Ce chapitre ouvre le débat sur la crédibilité des questions de suivi et le degré d’engagement du répondant dans le questionnaire. La valeur informative sur la précision du choix d’un individu certain qui ne considère pas tous les attributs n’est pas significativement différente de celle d’un individu incertain. Afin de déterminer l’impact de la non-considération des attributs et du niveau de certitude sur la VAP pour l’amélioration de l’esthétique du paysage, nous avons repondéré le poids de chaque individu dans le calcul de la VAP selon son niveau de certitude et la fréquence de non-considération des attributs dans un modèle pondéré de logit à coefficients aléatoires (RPL pondéré). Nos résultats démontrent que la VAP est biaisée vers le haut ou surestimée si le chercheur ne considère pas en même temps l’incertitude et la fréquence de non-considération des attributs.

Dans le chapitre 4, nous avons identifié la principale raison de la non-considération des attributs par la complexité des ensembles de choix. En particulier, l’individu est incapable d’imaginer la variation de tous les attributs en même temps. Dans la littérature, un individu qui trouve le questionnaire complexe est plus

susceptible d'augmenter ses erreurs de décision dans un modèle à variance hétérogène où la complexité est une variable explicative de la variance du terme d'erreur. En général, les autres auteurs testent la complexité des ensembles de choix en modifiant le nombre d'alternatives (DeShazo et Fermo, 2002 ; Arentze *et al.*, 2003), le nombre d'ensembles de choix (Caussade *et al.*, 2005 ; Chung *et al.*, 2011), le nombre de niveaux de chaque attribut (DeShazo et Fermo, 2002 ; Arentze *et al.*, 2003). Par contre, nous avons choisi de considérer une mesure de la complexité perçue par le répondant. D'une part, il est intéressant d'étudier la complexité dans sa partie plutôt subjective, telle que ressentie par le répondant. Et d'autre part, la complexité évaluée par le répondant pourrait permettre aux chercheurs d'avoir une idée sur la corrélation avec les variables sociodémographiques. Notre question de recherche correspondante au chapitre 3 s'articule de la manière suivante : quels sont les impacts de photos sur la probabilité de complexité des ensembles de choix ? Quelles sont les conséquences de complexité sur la précision des choix ? Pour répondre à cette question, nous avons identifié les raisons de la non-considération des attributs dans notre questionnaire puis le répondant est amené à répondre aux raisons de la non-considération des attributs. La perception de la complexité est alors une variable binaire égale à 1 si l'individu a ignoré un attribut parce qu'il est difficile d'imaginer tous les attributs en même temps et 0 si l'individu a considéré tous les attributs. Dans notre stratégie empirique, nous avons d'abord cherché les facteurs affectant la probabilité de complexité des choix à l'aide d'un modèle probit. Nous avons trouvé que les années d'éducation et la photo réduisent la probabilité de complexité des ensembles de choix. Par contre, les hommes et les plus individus plus âgés perçoivent plus souvent les ensembles de choix comme complexes. Dans une deuxième étape, nous avons testé dans des sous-échantillons sans photo, avec photo en été et avec photo en automne, l'impact de la complexité sur la précision des choix dans un modèle à variance hétérogène. Nos résultats montrent que l'incohérence des choix est moins importante dans le cas des photos prises en automne. Ce résultat pourrait être dû, qu'en absence de photo, l'individu aura du mal à imaginer les variations de tous les attributs en même temps. Avec la photo prise en automne par contre, l'individu pourrait mieux décerner la diversité et la dispersion des couvertures

de terre du paysage. La contribution de ce chapitre est liée au chapitre 2. Nous montrons ici les différents facteurs pour limiter la complexité des choix, liée à la non-considération des attributs.

Le chapitre 5 est un prolongement de l'impact des politiques environnementales lorsque le législateur décide de mettre en place un prix qui n'est pas directement lié aux préférences des individus. Ce prix est lié à l'ensemble des externalités négatives présentes et futures relatives aux changements climatiques. Dans le contexte des Accords de Paris sur le Climat, les pays signataires sont disposés à mettre en place un prix du carbone pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, le signal du prix du carbone est jugé insuffisant pour limiter la hausse des températures à moins de 2° C (OECD et Group, 2015 ; Pattillo *et al.*, 2019). Cette situation nécessite une profonde réflexion sur l'accélération des prix du carbone (OECD et Group, 2015) pour atteindre les objectifs. En effet, la mise en place des politiques environnementales peut être contrainte par les conflits sociaux ou les groupes de pression du secteur de l'énergie.

Dans ce chapitre, nous cherchons à estimer premièrement, l'impact du signal du prix du carbone sur le bien-être des populations issues de 21 pays européens membres de l'OCDE en 2012 et 2015. Deuxièmement, nous avons testé les conditions macroéconomiques défavorables à la hausse du prix carbone. Et troisièmement, nous avons évalué les politiques macroéconomiques d'atténuation qui pourraient réduire l'effet négatif du signal du prix carbone. En combinant des données microéconomiques sur la satisfaction à la vie et les données macroéconomiques sur le prix du carbone, nous montrons que le prix du carbone affecte négativement le bien-être subjectif surtout si ce signal provient du secteur de l'agriculture, de l'industrie et de la production d'électricité. L'effet du prix du carbone sur le bien-être est robuste même en contrôlant les autres types de taxes. Nous avons montré que les périodes de chômage (Yip *et al.*, 2018), d'endettement élevé et de dépréciation de l'euro face au dollar américain (Yu et Mallory, 2014) sont des conditions défavorables pour la hausse du prix du carbone. Il

est donc nécessaire d'appliquer des politiques d'accompagnement pour réduire les effets négatifs du prix du carbone sur le bien-être notamment les politiques monétaires (baisse du taux d'intérêt et l'accès au financement bancaire) (Campiglio, 2016), les politiques de change et d'aide à l'innovation technologique et à la création d'entreprise. Ce chapitre montre que le succès des politiques environnementales dépend de la considération des coûts politiques résultant des coûts de bien-être individuel.

PREMIER CHAPITRE : EFFETS DES IMAGES DANS L'ÉVALUATION DE L'ÉSTHÉTIQUE DU PAYSAGE : UNE ÉTUDE DE CHOIX EXPÉRIMENTAUX DANS LA RÉGION DE CHARLEVOIX

1. INTRODUCTION

Selon la Convention Européenne du Paysage¹, le paysage se désigne comme « une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations ». En particulier, le paysage forestier se définit par « l'importance du couvert forestier comme la résultante de tous les facteurs, permanents ou non, influençant le développement de la forêt au cours du temps » (Grondin *et al.*, 2007 ; Grondin, 2010). L'esthétique du paysage est donc une notion complexe qui peut être influencée aussi bien par des processus naturels que par l'intervention humaine (Kaymaz, 2012). Le rapport entre l'esthétique du paysage et l'humain est largement étudié dans la littérature philosophique, cognitive et neurologique. Kellert et Wilson (1995) supposent que la perception de l'esthétique du paysage est une réponse innée ou génétique face à des stimulus issus des éléments du paysage. En d'autres termes, l'esthétique du paysage provoque des émotions amenant des réponses automatiques telles des changements de tensions de muscles, la focalisation de l'attention, l'augmentation de la respiration (Karmanov, 2009). Kaplan et Kaplan (1989) définissent l'esthétique du paysage comme un cadre complexe et cohérent dans lesquels l'information occupe un élément central. Dans cette théorie, l'individu cherche à savoir la disposition spatiale des éléments du paysage. D'autres auteurs se basent sur des théories tirées de la neurologie appelées les théories de la restauration. En effet, l'observation du paysage pourrait permettre de réduire le niveau de stress et la fatigue, en particulier les environnements composés d'eau, de forêt et de montagne (Laumann *et al.* 2001 ; Tang *et al.*, 2017). Appleton (1996) montre par contre qu'un paysage est positif s'il est associé aux besoins biologiques de l'individu (théorie de l'habitat). L'esthétique du paysage est un élément

¹ <https://www.coe.int/fr/web/landscape/the-european-landscape-convention>

central dans l'amélioration de la qualité de vie et de la santé psychologique des individus (Kaplan *et al.*, 1989 ; Ode et Fry, 2002). Du point de vue économique, le paysage forestier peut aussi être une source de prospérité économique et de développement durable via les activités touristiques.

Cependant, avec la poussée démographique, le changement climatique, la déforestation et la pression urbaine, le paysage devient de plus en plus menacé. Cette évolution négative se traduit par une perte de la diversité, de la cohérence et de l'identité caractérisant ces paysages traditionnels (Antrop, 2005). Afin de protéger l'esthétique du paysage, la gestion forestière peut jouer un rôle important dans l'apparence et la perception du paysage (Ribe, 1989). En effet, la gestion forestière est un ensemble de disposition légale et administrative visant à soutenir l'économie forestière, préserver les forêts rares et contrôler les interventions forestières² (MFFP, 2013). Ainsi, l'intégration de la valeur de l'esthétique du paysage dans les politiques d'aménagement forestier est utile dans le but d'aider les autorités à visualiser et à quantifier l'esthétique du paysage et ainsi à améliorer l'efficacité de ces politiques.

Dans les politiques de gestion forestière, l'évaluation visuelle des politiques forestières sur l'esthétique du paysage est de plus en plus courante (Panagopoulos, 2009 ; Burley, 2006). Des auteurs tels que Vecchiato et Tempesta (2013) évaluent l'esthétique du paysage forestier de la région de Venise. Ils constatent que la volonté à payer (VAP) pour un programme de reboisement dépend négativement de l'âge des répondants et de la distance entre leur lieu de résidence et la zone d'étude. Carlsson *et al.* (2003) ont mené une enquête de choix expérimentaux pour identifier les attributs qui affectent la valeur de l'esthétique du paysage forestier. En utilisant un modèle logit à coefficients aléatoires, les auteurs constatent que le niveau de biodiversité a un effet positif sur le bien-être. Borresch *et al.* (2009) analysent les déterminants de la

² <https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/gestion-forestiere/>

dégradation des paysages dans la région de Wetterau en Allemagne. Ils constatent que la population locale valorise grandement le paysage et prennent en compte les aspects écologiques de la composition du paysage. Nous n'avons pas encore trouvé d'études évaluant la valeur économique de l'esthétique du paysage au Québec, bien que la méthode expérimentale de choix soit utilisée pour évaluer la valeur des milieux humides (He *et al.*, 2017) ou la valeur des écosystèmes non aquatiques du Grand Montréal (Poder *et al.*, 2016).

Relative à l'évaluation de l'esthétique du paysage, l'utilisation de la manipulation des photos pour approximer le paysage que l'individu pourrait expérimenter est largement adoptée (van Zanten *et al.*, 2016a). Dramstad *et al.* (2006) montrent une corrélation entre les attributs visuels du paysage et les préférences des individus. D'autres auteurs comparent la description potentielle des attributs du paysage avec des photos ou avec simplement des textes. Shr *et al.* (2019), Manning et Freimund (2004) trouvent que les photos du paysage augmentent la préférence des individus. Par contre, Veldwijk *et al.* (2015) trouvent que les individus sont plus concentrés si le paysage est illustré par les textes par conséquent les réponses sont plus cohérentes par rapport aux photos. Certaines études montrent aussi que certaines caractéristiques particulières des photos peuvent influencer les préférences de l'individu notamment les saisons (Junge *et al.*, 2015), le panorama ou l'arrière-plan (Schirpke *et al.*, 2013), la taille de l'objet (Silvera *et al.* (2002)) et le degré de réalisme (Appleton et Lovett, 2003).

L'objectif de ce chapitre est d'abord de déterminer la valeur de l'esthétique paysagère dans la région de Charlevoix au Québec, où le paysage est un moteur de développement local. À cet égard, quantifier la valeur de l'esthétique du paysage pourrait être utile pour sa préservation. Pour étudier cette valeur, l'approche de choix expérimentaux (Bateman *et al.*, 2002) est préférée, car elle permet de capturer la VAP marginale de chaque attribut et également d'évaluer la perception de l'individu du changement du paysage à travers différents scénarios hypothétiques de gestion

forestière. Nous menons une enquête auprès de 998 personnes de plus de 18 ans recrutées aléatoirement dans la province de Québec. De plus, nous testons également l'effet des photos sur le choix des répondants en administrant des questionnaires de choix expérimentaux avec des stratégies d'échantillonnage fractionné dans lequel 20% des répondants n'ont reçu que des questionnaires dans lequel les scénarios de politiques sylvicoles sont simplement expliqués par un texte, tandis que les 80% restants en ont reçu une illustration virtuelle des scénarios de l'esthétique du paysage à évaluer. Parmi les 80% des personnes interrogées qui ont reçu des illustrations virtuelles, nous avons divisé les échantillons aléatoirement en quatre traitements différents 1) été avec un point d'eau, 2) été sans un point d'eau, 3) automne avec un point d'eau et enfin 4) automne sans un point d'eau.

Nos résultats montrent que la naturalité du paysage, c'est-à-dire le paysage vu dans sa forme la plus primitive, est l'attribut le plus préféré des répondants ayant la VAP la plus élevée. La diversité et la dispersion des éléments de l'esthétique du paysage ont des effets positifs mais plus faibles sur l'esthétique du paysage. En revanche, la présence de perturbations telles que les fils électriques diminue fortement et significativement la préférence sur l'esthétique du paysage. De plus, l'illustration visuelle des scénarios par des photos en automne augmente la VAP des attributs d'une part et l'utilité pour les individus d'accepter les projets hypothétiques pour l'amélioration du paysage. Par contre, la VAP est plus faible lorsque la photo de référence est prise en été par rapport à la VAP des attributs si les scénarios sont décrits uniquement par un texte. Nos résultats mettent en lumière le rôle de l'illustration visuelle de l'esthétique du paysage dans le processus d'évaluation.

Le reste du chapitre sera organisé de la manière suivante : la section 2 va décrire la méthode des choix expérimentaux ainsi que les différentes hypothèses sur l'effet des photos sur la décision et la VAP, ensuite dans la section 3, nous allons présenter la zone d'étude et l'enquête de choix expérimentaux réalisée au Québec puis dans la section 4 nous allons analyser les effets des photos sur les préférences des individus pour

l'amélioration du paysage et les résultats sur le VAP de chaque attribut du paysage et et enfin nous allons conclure dans la section 5.

2. MÉTHODES DES CHOIX EXPÉRIMENTAUX

2.1. MODÉLISATION ÉCONOMÉTRIQUE

La méthode des choix expérimentaux est issue du modèle de demande du consommateur de Lancaster (1966) et initialement développée en marketing (Green et Srinivasan, 1990 ; Green et al., 1975). Cette méthode est largement utilisée dans l'évaluation économique de bien non-marchand depuis les années 1990. C'est un outil permettant de déterminer les préférences d'un individu pour un ensemble d'alternatives, de bien, de services (Hoyos, 2010 ; Louviere *et al.*, 2000, Rambonilaza et Dachary-Bernard, 2007). Cette méthode a été utilisée pour évaluer l'esthétique du paysage dans beaucoup d'études (Tagliafierro *et al.*, 2013).

Basé sur la logique de maximisation de l'utilité, la modélisation de la décision de l'individu se fait si l'individu fait face à plusieurs alternatives dans les choix expérimentaux. De ce fait, nous adoptons la théorie de l'utilité aléatoire développée par McFadden *et al.* (1973) dans laquelle l'individu i choisit une alternative j dans l'ensemble de choix t tel que :

$$U_{ijt} = V_{ijt} + \varepsilon_{ijt} = \beta x_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad \text{Éq. 1}$$

V_{ijt} est la partie déterministe de la fonction d'utilité, ε_{ijt} le terme d'erreur représentant la partie non observable des choix de l'individu i , x_{ijt} est le vecteur d'attributs de l'alternative j dans l'ensemble de choix t , β est le vecteur des paramètres correspondant à chaque attribut.

Ainsi la probabilité de choisir l'alternative j s'écrit de la manière suivante :

$$\Pr (y_{it} = j|\boldsymbol{\beta}) = \frac{\exp (x_{ijt}\boldsymbol{\beta})}{\sum_{k=1}^J \exp (x_{ikt}\boldsymbol{\beta})} \quad \text{Éq. 2}$$

avec y_{it} le choix de l'alternative j dans l'ensemble de choix t fait par l'individu i .

Pour estimer l'équation 2, nous allons faire deux hypothèses sur la distribution des termes d'erreur. La première hypothèse est de considérer que les coefficients ne varient pas entre les individus. Ce modèle d'estimation correspond au modèle de logit multinomial (MNL). La deuxième hypothèse consiste à relâcher la contrainte sur l'égalité des coefficients entre les individus. Le modèle de logit à coefficients aléatoires (RPL) permet d'appliquer une distribution mixte aux coefficients qui varient entre les individus. En rendant les coefficients aléatoires, le modèle prend en considération l'hétérogénéité inobservée des préférences. En d'autres termes, le modèle RPL suppose que l'utilité marginale de l'esthétique du paysage est différente entre les individus. Cette hypothèse est cohérente par rapport à notre étude dans la mesure où la perception du paysage est subjective et dépend des facteurs propres à l'individu comme l'émotion, les sentiments, etc.

Dans le modèle RPL, la probabilité d'observer une séquence de choix y_i pour un individu i est conditionnel à $\boldsymbol{\beta}$. Les coefficients sont estimés par le produit des probabilités conditionnelles de tous les ensembles de choix t pour chaque individu :

$$P(y_i|\beta_i) = \prod_{t=1}^T \frac{\exp (\beta_i x_{ijt})}{\sum_k \exp (\beta_i x_{ikt})} \quad \text{Éq. 3}$$

Cependant, la valeur de $\boldsymbol{\beta}$ étant inconnu, nous allons estimer la séquence de choix pour chaque individu conditionnel à la densité de la distribution des coefficients $f(\boldsymbol{\beta}|\boldsymbol{\theta})$ qui suit par hypothèse une distribution normale :

$$P(y_i|\theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(y_i|\beta_i) f(\beta|\theta) d\beta \quad \text{Éq. 4}$$

L'équation 4 ne peut pas être résolue analytiquement. La probabilité est approximée par une simulation du maximum de vraisemblance (Train, 2003 ; Hole, 2007).

Le coefficient de chaque attribut est hétérogène parmi les individus i . Ce type de méthodologie permet de capter la subjectivité dans la perception de l'esthétique du paysage. La volonté à payer³ marginale de l'attribut x de l'esthétique du paysage se calcule de la manière suivante :

$$VAP_x = -\frac{\beta_{ix}}{\beta_{coût}} \quad \text{Éq. 5}$$

2.2. EFFETS DE LA PRÉSENCE DE PHOTOS ET DE LA COULEUR DES PHOTOS SUR LA PRÉFÉRENCE DES INDIVIDUS POUR L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE

Afin d'évaluer la présence des photos sur la préférence des individus et leur VAP dans le modèle de choix expérimentaux pour améliorer l'esthétique du paysage, nous adaptons l'équation 1 de la manière suivante :

$$U_{ijt} = V_{ijt} + \varepsilon_{ijt} = \beta_{i,contrôle} x_{ijt} + \gamma x_{ijt} * photo_i + \varepsilon_{ijt} \quad \text{Éq. 6}$$

Où $photo_i$ est une variable muette égale à 1 si les scénarios sont illustrés par une photo et 0 sinon, $\beta_{i,contrôle}$ contient les paramètres des attributs de l'esthétique du paysage pour les individus dont les scénarios sont uniquement décrits par un texte, γ est le paramètre de l'interaction entre la photo et les attributs correspond à l'esthétique.

³ Les VAP sont calculées pour chaque niveau des attributs en considérant le niveau faible comme référence.

$\beta_{i,photo} = \beta_{i,contrôle} + \gamma$, représentent les attributs de l'esthétique du paysage des individus qui ont reçu une photo.

Le modèle est basé sur la fonction de probabilité suivante :

$$\Pr(y_{it} = j | \beta, \gamma) = \frac{\exp(\beta_{i,contrôle}x_{ijt} + \gamma x_{ijt} * photo_i)}{\sum_{k=1}^J \exp(\beta_{i,contrôle}x_{ikt} + \gamma x_{ikt} * photo_i)} \quad \text{Éq. 7}$$

Les VAP marginales de l'attribut x de l'esthétique du paysage selon l'échantillon sans photo et celui avec photo se calculent de la manière :

$$VAP_{x,contrôle} = -\frac{\beta_{xi,contrôle}}{\beta_{coût}} \quad \text{Éq. 8}$$

$$VAP_{x,photo} = -\frac{\beta_{xi,photo}}{\beta_{coût}} \quad \text{Éq. 9}$$

Pour tester l'impact des couleurs des photos (automne/été) sur l'appréciation de l'esthétique du paysage des individus nous adaptons l'équation 1 de la manière suivante⁴ :

$$U_{ijt} = V_{ijt} + \varepsilon_{ijt} = \beta_{i,été}x_{ijt} + \gamma x_{ijt} * automne_i + \varepsilon_{ijt} \quad \text{Éq. 10}$$

Où $automne_i$ est une variable muette égale à 1 si les scénarios sont illustrés par une photo d'automne et 0 si la photo est prise en été. $\beta_{i,été}$ contient les paramètres des attributs de l'esthétique du paysage pour les individus si le support visuel est une photo prise en été, γ est le paramètre de l'interaction entre la photo d'automne et les attributs correspond à l'esthétique du paysage. $\beta_{i,automne} = \beta_{i,été} + \gamma$, représentent les attributs de l'esthétique dans l'échantillon avec les photos d'automne.

⁴ L'échantillon est restreint en retirant de l'échantillon les individus qui n'ont pas reçu de photo.

Le modèle est basé sur la fonction de probabilité suivante :

$$\Pr(y_{it} = j | \beta, \gamma) = \frac{\exp(\beta_{i,\text{été}} x_{ijt} + \gamma x_{ijt} * \text{automne}_i + \varepsilon_{ijt})}{\sum_{k=1}^J \exp(\beta_{i,\text{été}} x_{ikt} + \gamma x_{ikt} * \text{automne}_i + \varepsilon_{ikt})} \quad \text{Éq. 11}$$

Les VAP marginales de l'attribut x de l'esthétique du paysage selon l'échantillon avec photo d'été et celui avec photo d'automne se calculent de la manière :

$$VAP_{x,\text{été}} = - \frac{\beta_{xi,\text{été}}}{\beta_{\text{coût}}} \quad \text{Éq. 12}$$

$$VAP_{x,\text{automne}} = - \frac{\beta_{xi,\text{automne}}}{\beta_{\text{coût}}} \quad \text{Éq. 13}$$

2.3. TEST D'ÉGALITE DES PRÉFÉRENCES SUR L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE DES INDIVIDUS SELON L'ILLUSTRATION DU PAYSAGE PAR DES PHOTOS ET LA COULEUR DES PHOTOS

Dans cette section, nous présentons les différentes hypothèses mises en place pour tester l'effet des photos sur la décision et sur la VAP dans le contexte de l'évaluation de l'esthétique du paysage.

$$H_0^1: \beta_{i,\text{contrôle}} = \beta_{i,\text{photo}} \quad \text{Éq. 14}$$

L'hypothèse H_0^1 consiste à tester l'égalité des coefficients entre l'échantillon de contrôle dont les ensembles de choix ne sont pas illustrés par une photo (208 individus) et le groupe de traitement dont les ensembles de choix s'accompagnent de photo (790 individus). Si l'hypothèse H_0^1 ne peut pas être rejetée, il n'y a pas d'effet significatif d'une photo sur la préférence des individus.

Dans la deuxième hypothèse H_0^2 , nous testons l'effet des saisons dans laquelle la photo a été prise sur la préférence des individus si H_0^1 est rejetée :

$$H_0^2: \beta_{i,automne} = \beta_{i,été} \quad \text{Éq. 15}$$

Si l'hypothèse H_0^2 ne peut pas être rejetée, alors la saison n'a pas d'effet sur la préférence de l'individu.

Les hypothèses H_0^1 et Si H_0^2 sont testées en utilisant la procédure de première étape de Swait et Louviere (1993). Les auteurs testent l'hypothèse d'égalité des préférences en utilisant un test de ratio de vraisemblance (LR). Ainsi, la première étape consiste comparer l'échantillon globale (échantillon de contrôle et échantillon de traitement) aux deux échantillons restreints i.e. l'échantillon de contrôle d'une part et l'échantillon de traitement d'autre part. Le test LR permet de connaître si les préférences des individus dans l'échantillon de contrôle sont égales à celles dans l'échantillon de traitement selon le modèle : $\beta_{i,contrôle} = \beta_{i,photo}$. Le même test est réalisé comparer $\beta_{i,automne} = \beta_{i,été}$. Si l'hypothèse nulle d'égalité des préférences est rejetée alors la photo ou les saisons ont un effet sur les préférences des individus.

La troisième hypothèse consiste à comparer la moyenne des VAP de chaque attribut x entre l'échantillon de contrôle et de traitement d'une part et entre l'échantillon avec photo d'automne et celui avec photo d'été d'autre part :

$$H_0^3: VAP_{x,contrôle} = VAP_{x,photo} \quad \text{Éq. 16}$$

$$H_0^4: VAP_{x,automne} = VAP_{x,été} \quad \text{Éq. 17}$$

Les hypothèses H_0^3 et H_0^4 sont testés en utilisant le test de Wald⁵.

3. ENQUÊTE ET DONNÉE

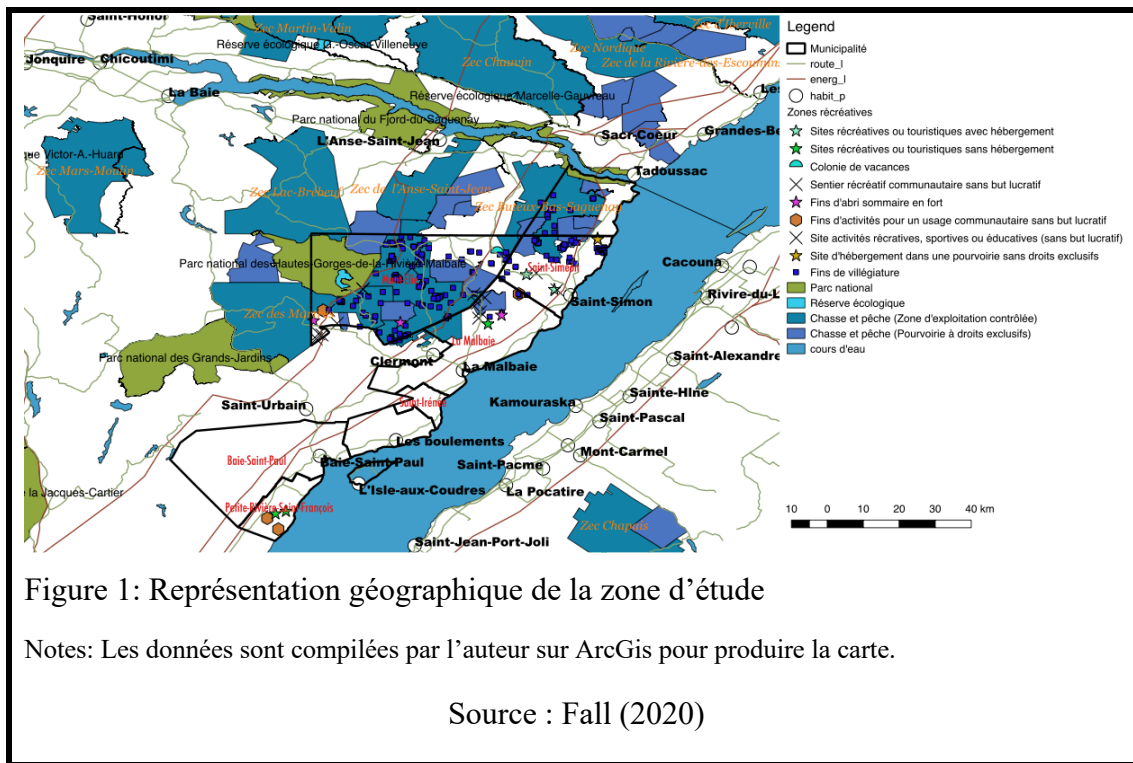
Nous avons conduit une enquête de choix expérimentaux sur la valeur de l'esthétique du paysage forestier dans la région de Charlevoix au Québec, Canada.

3.1. ZONE D'ÉTUDE

Notre étude est orientée sur la région de Charlevoix. Dans ce chapitre, nous sommes amenés à restreindre la zone d'étude à des municipalités qui se trouvent dans la MRC Charlevoix-Est. Étant donné que la majorité du territoire de ces régions reste inhabitée, nous nous concentrons vers de municipalités à fort bassin de population ou à forte attractivité touristique⁶. Nous avons donc choisi les municipalités de la Baie-Sainte-Catherine, Saint-Siméon, le Mont-Élie, La Malbaie, Saint-Irénée, Les Éboulements, Baie-Saint-Paul, Petite-Rivière-Saint-François et les Isles-aux-Coudres (figure 1).

⁵ Le test de Wald entre le groupe de contrôle et de traitement est réalisé en répliquant 10000 fois l'équation 6 par bootstrap.

⁶ <https://www.tourisme-charlevoix.com/en/>



3.2. DONNÉES

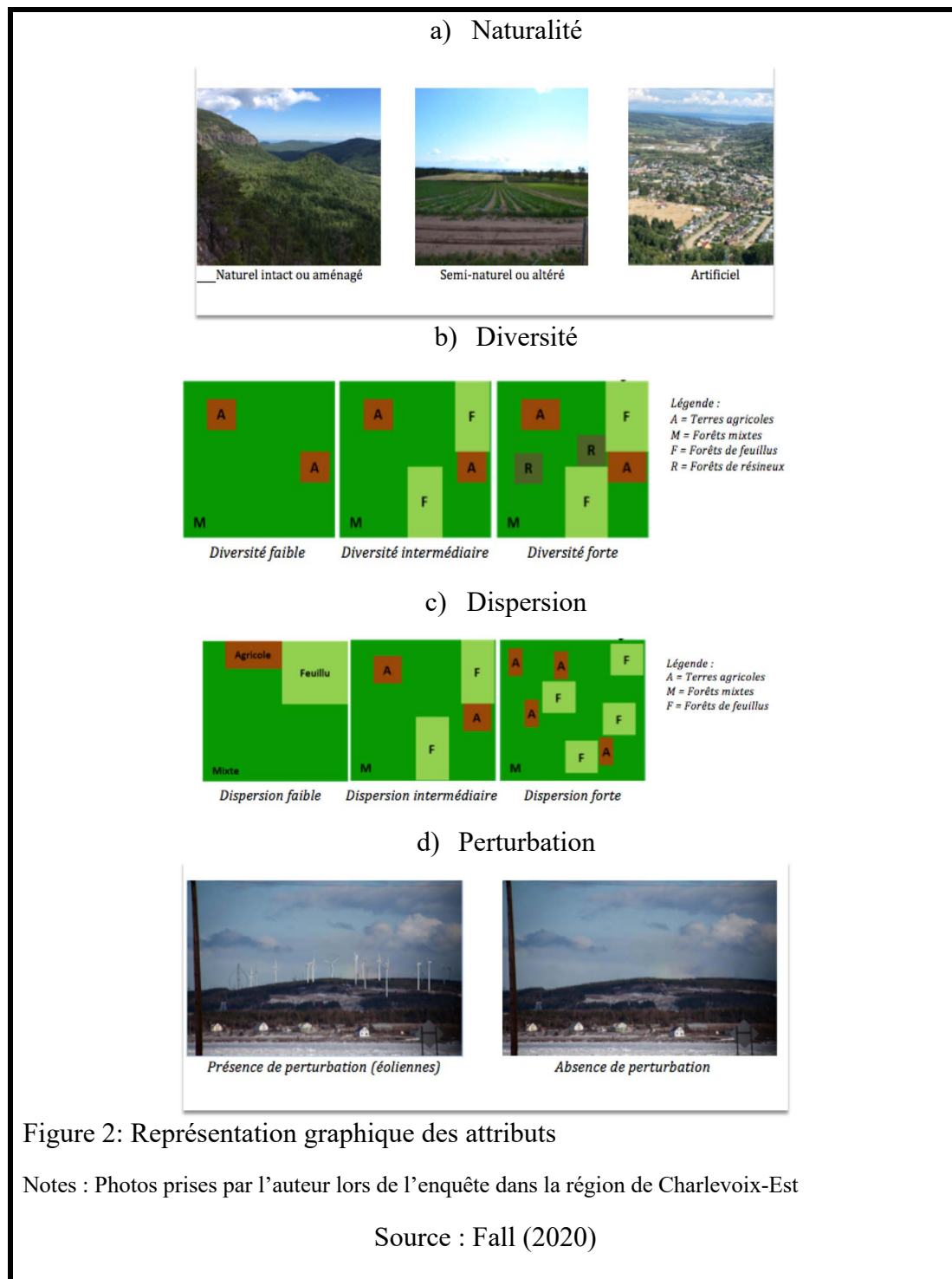
L'objectif de notre étude est d'évaluer la valeur économique de l'esthétique du paysage forestier localisée dans cette région et perçue par la population générale du Québec dans le but de fournir des informations utiles pour le développement et les stratégies de planification forestière. La problématique de l'évaluation du paysage est importante parce que l'économie de cette région est principalement reliée aux activités touristiques. De ce fait, la protection du paysage forestier pour les potentielles usages actives ou passives et éventuellement ses valeurs de non-usage est aussi importante.

Pour la sélection des attributs, nous nous sommes d'abord basés sur la théorie de l'information de Kaplan et Kaplan (1989) où le paysage est défini selon la complexité et la cohérence. Ode *et al.* (2008) définissent la complexité comme la diversité, la dispersion et l'organisation spatiale des éléments. Étant donné que dans la méthode des choix expérimentaux, l'esthétique du paysage est définie par des attributs pertinents de la zone d'étude, nous avons organisé en parallèle des rencontres avec deux groupes

d'experts. La région d'étude étant très forestières et touristiques, nous avons inclus dans les groupes d'experts des personnes ayant de l'expérience dans le paysage forestier comme des ingénieurs forestiers, des forestiers, des professeurs, des professionnels du tourisme, des membres du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, des membres de consortium pour la valorisation paysage. La rencontre s'est déroulé de la manière suivante : (1) nous avons d'abord demandé selon eux, quels sont les caractéristiques qui définissent le mieux le paysage forestier ; (2) ensuite nous avons regroupé avec leur participation, des attributs qui se ressemblent ou qui évoquent la même chose ; (3) puis nous avons organisé un vote sur pour choisir 5 principaux attributs (4) finalement nous avons comparé les attributs avec ceux de la littérature (Ode *et al.*, 2008) pour définir les niveaux et la faisabilité dans les ensembles de choix. Nous avons sélectionné les attributs suivants (voir figure 2) :

- **Naturalité** est le paysage vu dans son état le plus naturel avec trois niveaux : artificiel, semi-naturel et intacte.
- **Dispersion** décrit le degré d'éparpillement des couvertures de terre sur une surface donnée avec trois niveaux : faible, intermédiaire et élevé.
- **Perturbation** correspond au manque de cohérence dans le paysage dû à la présence de fils électrique et routes.
- **Diversité** représente le nombre de couvertures de terre sur une surface donnée avec trois niveaux : faible, intermédiaire et élevé⁷.
- La taxe annuelle régionale correspondant aux coûts de la mise en place de politique de gestion forestière. Nous avons utilisé 8 niveaux de coût : 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100, 150 CAD.

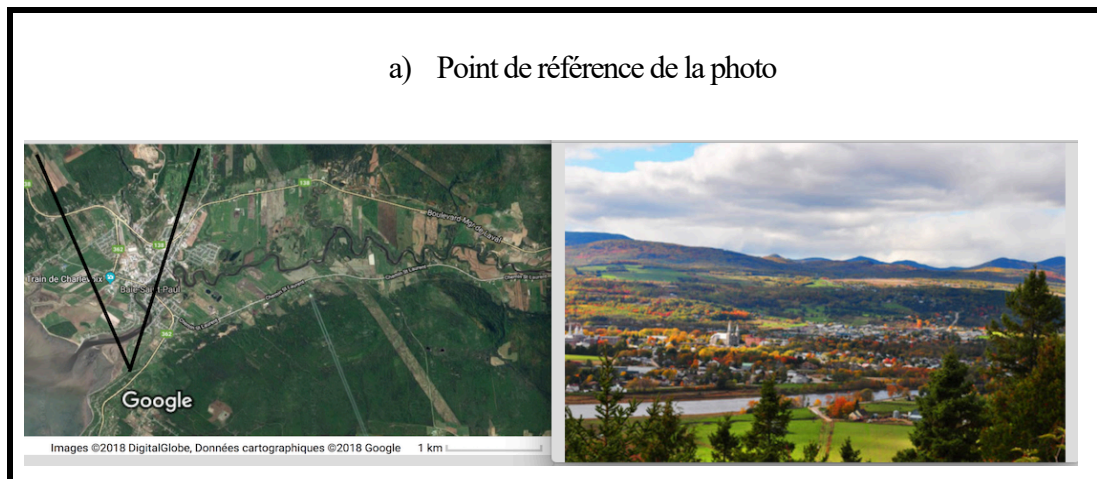
⁷ La diversité et la dispersion sont des indicateurs de la complexité de l'esthétique du paysage (Ode *et al.*, 2008). La diversité permet de déterminer le degré de richesse des éléments du paysage par contre la dispersion mesure l'organisation spatiale du paysage.

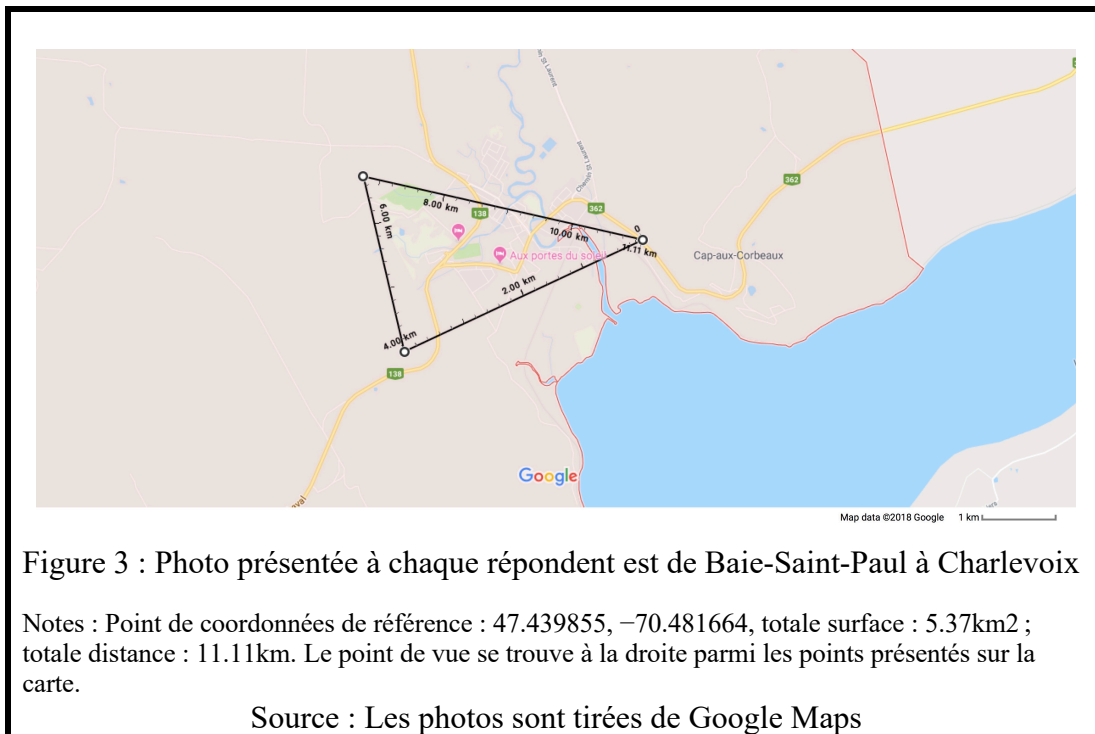


Toutes les combinaisons des 5 attributs et de leurs niveaux représente 486 alternatives ($3 \times 3 \times 2 \times 3 \times 9$). Nous utilisons donc un plan factoriel fractionnaire pour obtenir un nombre raisonnable de combinaisons pour nos questions de choix expérimentaux. Pour ce faire, nous procédons à la configuration orthogonale à l'aide de SAS, auquel nous introduisons des contraintes de dominance strictes, afin d'éviter qu'une alternative ait des niveaux préférés pour tous les attributs qu'une autre présentée dans le même ensemble de choix. Sur la base du résultat de *l'efficacité D*, nous obtenons 24 scénarios de politiques répartis en 12 ensembles de choix. Nous avons donc divisé les 12 ensembles de choix en deux versions du questionnaire, chacune contenant 6 ensembles de choix. Dans chaque ensemble de choix, nous présentons deux scénarios politiques alternatifs, accompagnés du scénario du statu quo.

Pour tester comme les illustrations visuelles des scénarios peuvent affecter les choix individuels, nous adoptons une photo prise dans le Baie-Saint, une ville considérée comme ayant le paysage typique de Charlevoix, c'est-à-dire une petite zone urbaine entourée d'un couvert forestier. La figure 3 montre que la surface correspond au champ de vision de la photo. Nous avons établi que le champ de vision pris par la photo couvre une superficie de 5,37 km².

a) Point de référence de la photo





L'image originale est utilisée pour illustrer la situation actuelle. À partir de cette image, nous suivons la méthode proposée par Ode et al. (2008) pour représenter les niveaux d'attributs de paysage proposés dans différents scénarios dans une photo modifiée via Adobe® Photoshop®. Cette méthode est suggérée par Barroso *et al.* (2012) qui soutiennent que la manipulation de photos sur Photoshop évite les préoccupations liées à une interprétation hétérogène des répondants sur les scénarios de l'esthétique du paysage.

La photo modifiée que nous présentons dans le scénario A de la figure 4 illustre les changements potentiels en 15 ans sans aucune politique d'intervention en paysage forestier. Nous avons en outre adopté d'autres changements en fonction du niveau des attributs dans les scénarios B et C, qui décrivent comment le paysage peut être différent dans le cadre d'interventions publiques dans 15 ans. Toutes ces modifications visuelles ont été validées avec nos experts lors des groupes de paroles.





	<u>Situation actuelle</u>	<u>Situation dans 15 ans</u> <u>Option A</u>	<u>Option B</u>	<u>Option C</u>
Attributs (ou éléments) du paysage				
Diversité des types de couvertures de terre	Diversité intermédiaire	Diversité intermédiaire	Diversité forte	Diversité faible
Dispersion	Dispersion intermédiaire	Dispersion intermédiaire	Dispersion intermédiaire	Dispersion faible
Naturalité	Intact	Semi-naturel	Artificiel	Intact
Perturbation	Absence	Présence	Absence	Présence
Coût annuel sur 5 ans		0\$	80\$	30\$

Figure 4: Un exemple d'ensemble de choix

Source : Fall (2020)

Afin de vérifier l'impact des photos sur les choix des répondants, nous avons introduit des images sur 80% des questionnaires. Plus précisément, 208 répondants n'ont pas de photo dans leurs ensembles de choix et 790 en ont reçu une. Parmi les individus qui ont des ensembles de choix illustrés par des photos, nous avons réalisé différents traitements pour capter l'effet des saisons et la présence d'eau sur les photos. Ainsi, nous avons environ 200 questionnaires dans chacun des 4 traitements, qui sont 1) l'automne avec point d'eau, 2) l'automne sans point d'eau, 3) l'été avec point d'eau et 4) l'été sans point d'eau.

Tableau 1: Statistiques descriptives

Variable	Échantillon total			
	Moyenne	Écart-type	Min.	Max.
Homme	0,373	0,484	0	1
Nbre de visites	2,282	5,448	0	50
Revenu	51442,094	28319,269	10000	100000
Age	46,907	14.527	21	75
Années d'éducation	14,434	3,283	6	19
Observations	998			

Source : Fall (2020)

Les questionnaires finalisés ont d'abord subi un pré-test avant d'être administrés par une société d'enquête en ligne au Québec. L'enquête en ligne a été menée en 2015⁸. Il nous a permis de recueillir des réponses utilisables de 998 répondants choisis au hasard dans le panel représentatif de personnes de plus de 18 ans de la province de Québec. Le tableau 1 présente des statistiques descriptives des variables sociodémographiques. Notre échantillon comprend environ 37,3% de répondants masculins. L'âge moyen de nos répondants est de 46 ans. En moyenne, les personnes se sont rendues environ deux fois dans le site d'étude durant les 12 derniers mois. Cette variable sera utilisée pour mesurer l'expérience des répondants. Le revenu moyen des répondants est de 51442 \$⁹.

⁸ L'enquête a été effectuée du 21 au 30 Septembre 2015 au Québec par la firme « Dynata » (anciennement « Research Now and Survey Sampling International »)

⁹ Le revenu moyen était de 46 500 \$ en 2015 au Québec (<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1110023901&pickMembers%5B0%5D=1.14&pickMembers%5B1%5D=2.1&pickMembers%5B2%5D=3.1&pickMembers%5B3%5D=4.1&cubeTimeFrame.startYear=2015&cubeTimeFrame.endYear=2015&referencePeriods=20150101%2C20150101>).

4. EFFETS DES PHOTOS SUR LES PRÉFÉRENCES DES INDIVIDUS ET SUR LES CHOIX

4.1. TEST DE COMPARAISON DES MOYENNES ENTRE L'ÉCHANTILLON DE CONTRÔLE ET LES ÉCHANTILLONS DE TRAITEMENT

Afin de déterminer l'effet causal de la photo et de la saison sur les préférences de l'individu pour l'esthétique du paysage, nous nous assurons que l'échantillon de contrôle est comparable avec les échantillons de traitement. Nous appliquons un test de Mann-Whitney¹⁰ pour les variables continues comme le revenu, l'âge et les années d'éducation et un test de chi-2 pour les variables discrètes comme le sexe de l'individu (Mattmann et al, 2019). Le tableau 2 présente le test de comparaison des moyennes avec les variables sociodémographiques.

La tableau 2 montre que nous ne trouvons pas de différence significative entre l'échantillon de contrôle et les échantillons avec photo d'une part et les échantillons avec photo d'automne et d'été d'autre part. Le tableau 2 nous permet de faire l'hypothèse que la différence de préférences entre les échantillons de contrôle et de traitement n'est pas liée à une différence sur les variables sociodémographiques mais par les traitements avec ou sans photo.

¹⁰ Le test de Mann-Whitney mesure l'hypothèse que deux échantillons indépendants (i.e. deux échantillons de taille différente) viennent de la population avec la même distribution (Mann and Whitney 1947).

Tableau 2: Test de comparaison des échantillons selon les caractéristiques sociodémographiques

Variable	Contrôle (pas photo) vs Traitement (photo)			Contrôle vs Traitement 1 (automne)			Contrôle vs Traitement 2 (été)		
	Test-statistique	p-value	Test	Test-statistique	p-value	Test	Test-statistique	p-value	Test
Revenu	0.362	0.7174	Mann-Whitney	-0.061	0.9512	Mann-Whitney	0.73	0.4651	Mann-Whitney
Âge	-1.016	0.3098	Mann-Whitney	-0.788	0.4307	Mann-Whitney	-1.064	0.2873	Mann-Whitney
Années d'éducation	0.211	0.8333	Mann-Whitney	0.078	0.9381	Mann-Whitney	0.309	0.7578	Mann-Whitney
Homme	-0.0855	0.4659	Chi-2	-0.3335	0.3694	Chi-2	0.1865	0.5739	Chi-2

Source : Fall (2020)

4.2. RÉSULTATS DE L'EVALUATION DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE

Le tableau 3 présente les résultats du modèle de multinomial logit (MNL) dans lequel est expliquée la probabilité qu'un scénario soit choisi par un individu en considérant le niveau des attributs que ce scénario propose (colonne 1). Afin de considérer l'hétérogénéité des préférences des individus pour les différents attributs du paysage, nous estimons un modèle logit à coefficients aléatoires (RPL) (colonne 3). Les résultats du tableau 3 sont basés sur l'estimation de l'équation 2. Comme tous les attributs exceptés le coût sont présentés sous forme de niveaux dans les ensembles de choix, nous adoptons les variables muettes pour capturer les différents niveaux, avec le niveau faible choisi comme référence.

Les résultats montrent dans la colonne 1, comme nous espérons, les coefficients sont positifs et significatifs pour les variables muettes capturant les niveaux des attributs décrivant l'esthétique du paysage forestier et un signe négatif et significatif du coefficient de la variable continue du coût dans le modèle MNL. Le coefficient diversité élevée est positif mais n'est pas significatif. Les magnitudes des coefficients associées au niveau élevé est, comme nous l'espérons, plus importantes que les niveaux intermédiaires pour les attributs contenant trois niveaux : naturalité (semi : 0,569 vs intact 1,020) et la diversité (intermédiaire 0,346 vs élevée 0,374). Cependant, le coefficient de la dispersion élevée (0,180) est plus faible que celui de la dispersion intermédiaire (0,122), ce qui est contraire à notre intuition.

Comme les niveaux des attributs sont codés comme des variables muettes, nous pouvons directement comparer les magnitudes des coefficients entre les attributs. Clairement, la naturalité indique les coefficients les plus élevés, suivi par l'absence de perturbation, la diversité. La dispersion est l'attribut qui contribue le moins à l'utilité de l'individu relative à l'esthétique du paysage.

Tableau 3: Résultats de l'évaluation de l'esthétique du paysage (échantillon global)

	MNL		RPL	
	Coef	Erreur-type	Coef	Erreur-type
	(1)	(2)	(3)	(4)
Coefficients				
ASC	0,330***	(0,102)	0,063	(0,151)
Coût	-0,003***	(0,001)	-0,005***	(0,001)
Diversité intermédiaire	0,346***	(0,077)	0,657***	(0,102)
Diversité élevée	0,374***	(0,085)	0,787***	(0,112)
Dispersion intermédiaire	0,180**	(0,083)	0,394***	(0,105)
Dispersion élevée	0,122	(0,097)	0,372***	(0,130)
Naturalité semi	0,569***	(0,085)	0,981***	(0,112)
Naturalité intacte	1,020***	(0,105)	1,532***	(0,154)
Absence de perturbation	0,568***	(0,055)	0,824***	(0,081)
Écarts-type				
ASC			2,131***	(0,102)
Coût			0,008***	(0,002)
Diversité intermédiaire			0,138	(0,118)
Diversité élevée			0,200	(0,137)
Dispersion intermédiaire			0,000	(0,125)
Dispersion élevée			0,457**	(0,178)
Naturalité semi			0,708***	(0,121)
Naturalité intacte			1,438***	(0,119)
Absence de perturbation			0,757***	(0,120)
Observations	17964		17964	
Nbre de répondants	998		998	
LL	-6281,6183		-5446,7299	

Notes : Résultats tirés de l'équation 2¹¹.

Source : Fall (2020)

¹¹ Notes : Les erreurs-types robustes sont en parenthèse. Photo est une variable muette égale à si l'individu est confronté à une photo lors de l'enquête. Le niveau faible est la référence. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Ces résultats sont d'une part, cohérents avec les théories écologiques telles que la théorie de l'habitat, de la biophilie¹² et la théorie de l'affordance (Kellert et Wilson, 1995 ; Jacobs, 2011). La particularité de la zone est d'étude est qu'elle est composée à 90% forestière. Comme l'affirme la théorie de la biophilie, cette relation primitive entre la nature et l'humain fait surgir des sentiments et des émotions automatiques. Ainsi, l'individu perçoit comme positifs, les paysages se rapportant au milieu naturel. Par contre, étant donné que les attributs de la dispersion et de la diversité ont moins d'impact sur l'utilité, nous nous éloignons de théorie de l'information de Kaplan et Kaplan (1989) où le paysage est perçu dans sa complexité (diversité des éléments) et dans sa cohérence (organisation spatiale des éléments).

L'alternative spécifique constante (ASC) est codée comme égale à 1 pour le scénario A sans intervention et 0 pour le scénario B et C qui illustrent l'amélioration espérée de l'esthétique du paysage dans les 15 ans après la mise en place de politiques sylvicoles hypothétiques. Avec un positif mais non significatif effet du coefficient pour le ASC, nos estimations révèlent que les répondants n'attachent pas significativement une utilité élevée attachée au « laisser-faire » i.e. au statu quo.

La colonne 3 indique les résultats du modèle RPL dans lequel nous prenons en compte l'hétérogénéité des préférences des individus pour les différents attributs du paysage. Tous les coefficients des niveaux des attributs sont positifs et significatifs comme nous l'espérons. De plus, la naturalité reste l'attribut le plus préféré, suivi de l'absence de perturbation, de la diversité et de la dispersion. La colonne 3 révèle aussi les écarts-types de la distribution des coefficients pour les différents attributs et ASC. Un écart-type significatif signifie une hétérogénéité confirmée des préférences entre

¹² La théorie de la biophilie développée notamment par Kellert et Wilson (1995) fait l'hypothèse que la perception de l'esthétique du paysage soit la conséquence d'une réponse innée ou génétique face aux propriétés physiques (arbres, eaux, forêt, terres agricoles) ou des attributs (naturalité, pente, ligne couleur) des éléments physiques du paysage (Jacobs, 2011). Par conséquent, Ulrich (1993) explique la thèse biologique par l'évolution historique de la relation entre l'homme et l'environnement naturel. Au cours de l'évolution, l'homme conserve les émotions positives liées aux avantages de son environnement naturel associé à sa survie.

les individus. Nos résultats semblent confirmer cette hétérogénéité des préférences pour les attributs tels que la naturalité, l'absence de perturbation, le coût, l'ASC et la diversité intermédiaire mais ni pour la dispersion et la diversité élevée.

4.3. EFFET DES PHOTOS SUR LA PRÉFÉRENCE DE L'ESTHETIQUE DU PAYSAGE

Dans cette section, nous évaluons la présence de photos sur la décision des individus dans le modèle de choix expérimentaux. Afin de tester l'impact des photos et des couleurs des photo (automne/été) sur l'appréciation de l'esthétique du paysage par les répondants, nous estimons respectivement l'équation 7 et l'équation 11 par les modèles MNL et RPL. Plus précisément, dans l'équation 7, nous intégrons des variables multiplicatives entre les coefficients des attributs de l'esthétique du paysage et une variable muette égale à 1 si les scénarios sont illustrés par des photos et 0 sinon. Dans l'équation 11, nous incorporons des interactions entre les attributs du paysage et une variable muette égale à 1 si la photo est prise en automne. Ainsi, si le coefficient de l'interaction entre la photo et les attributs est positif alors la photo a un effet d'amplification de l'impact d'un attribut sur la préférence alors que l'effet de l'interaction est négatif, alors la photo a un rôle d'atténuation. Par hypothèse, nous considérons l'impact de la variable capturant le coût des projets hypothétiques est le même entre l'échantillon avec photo ou celui sans photo. De ce fait, les coefficients des attributs du paysages provenant des différents traitements sont directement comparables.

La tableau 4 présente les résultats de l'équation 7 estimée par le modèle MNL dans la colonne 1 et par le modèle RPL dans la colonne 3. La colonne 1 montre la présence de photo atténue significativement l'impact des attributs tels que la diversité intermédiaire, la diversité élevée, la naturalité semi et la naturalité intacte par rapport à l'échantillon sans photo. Par contre, la photo n'a pas d'effet sur l'impact des attributs de la dispersion élevée, de la dispersion intermédiaire et de la perturbation.

Tableau 4: Évaluation de l'esthétique du paysage : effets de la photo

	MNL		RPL	
	Coef (1)	Erreur-type (2)	Coef (3)	Erreur-type (4)
Coefficients				
ASC	0,361	(0,229)	0,271	(0,328)
ASC*photo	0,001	(0,256)	-0,156	(0,369)
Coût	-0,003***	(0,001)	-0,005***	(0,001)
Diversité intermédiaire	0,716***	(0,168)	1,149***	(0,211)
Diversité intermédiaire*photo	-0,500***	(0,189)	-0,693***	(0,239)
Diversité élevée	0,732***	(0,178)	1,313***	(0,230)
Diversité élevée*photo	-0,476**	(0,201)	-0,722***	(0,259)
Dispersion intermédiaire	0,346*	(0,184)	0,604***	(0,221)
Dispersion intermédiaire*photo	-0,243	(0,206)	-0,324	(0,250)
Dispersion élevée	0,235	(0,210)	0,501*	(0,269)
Dispersion élevée*photo	-0,170	(0,234)	-0,268	(0,301)
Naturalité semi	0,846***	(0,176)	1,341***	(0,231)
Naturalité semi*photo	-0,370*	(0,199)	-0,529**	(0,260)
Naturalité intacte	1,397***	(0,210)	2,155***	(0,285)
Naturalité intacte*photo	-0,496**	(0,235)	-0,851***	(0,324)
Absence de perturbation	0,723***	(0,123)	1,001***	(0,171)
Absence de perturbation*photo	-0,186	(0,138)	-0,229	(0,192)
Écarts-type				
ASC			2,157***	(0,101)
ASC*photo			0,171	(0,301)
Coût			0,007***	(0,002)
Diversité intermédiaire			0,069	(0,167)
Diversité intermédiaire*photo			0,048	(0,163)
Diversité élevée			0,066	(0,225)
Diversité élevée*photo			0,102	(0,199)
Dispersion intermédiaire			0,604***	(0,221)
Dispersion intermédiaire*photo			0,092	(0,116)
Dispersion élevée			0,501*	(0,269)
Dispersion élevée*photo			0,049	(0,158)
Naturalité semi			1,002***	(0,091)
Naturalité semi*photo			0,076	(0,166)
Naturalité intacte			0,581***	(0,209)
Naturalité intacte*photo			1,473***	(0,187)
Absence de perturbation			0,546**	(0,232)
Absence de perturbation*photo			0,324	(0,228)
Observations	17964		17964	
Nbre de répondants	998		998	
LL	-6266,0643		-5430,8904	

Notes : Résultats tirés de l'équation 7 selon l'absence ou la présence de photo¹³.

Source : Fall (2020)

¹³ Notes : Les erreurs-types robustes sont en parenthèse. Photo est une variable muette égale à si l'individu est confronté à une photo lors de l'enquête. Le niveau faible est la référence. * $p < 0.10$, ** p

Les résultats restent robustes lorsque le modèle incorpore l'hétérogénéité des coefficients dans la colonne 3 (estimation par le modèle RPL). Concernant, l'impact des photos sur l'hétérogénéité des préférences mesurée par l'écart-type de la distribution des coefficients, nos résultats montrent que, dans la colonne 3, la présence de photo affecte positivement et significativement uniquement l'hétérogénéité des préférences résultant de la naturalité intacte de l'esthétique du paysage.

Nos résultats révèlent une réduction significative de la préférence des individus pour l'esthétique du paysage lorsque les scénarios sont illustrés par des photos. Nous pouvons considérer en analysant nos résultats si les attributs sont uniquement illustrés par des textes, l'individu est amené à imaginer mentalement le paysage selon son expérience, son émotion, etc. De ce fait, l'individu pourrait être amené à exagérer ou à surestimer l'amélioration du paysage selon son imagination qui peut ne pas être reliée à l'amélioration réel que le chercheur veut illustrer dans les ensembles de choix. Cette situation peut être contrôlée en illustrant les variations du paysage par les photos pour limiter la subjectivité des résultats. Les photos permettent une meilleure communication du résultat que le planificateur ou le chercheur pensent des transformations qui seraient faites si le projet hypothétique a eu lieu. Ainsi, cela permet d'éviter au répondant d'imaginer sa propre image cognitive de l'esthétique du paysage.

Après avoir testé l'effet de la présence de photo sur les préférences, nous nous intéressons à l'effet des caractéristiques des photos sur la décision des répondants. Notre hypothèse s'articule autour du fait que les photos en automne présentent des paysages forestiers riches en couleur comparés à aux paysages des photos prises en été. De ce fait, la photo prise en automne permet d'avoir une meilleure présentation de la beauté de l'esthétique du paysage et plus clairement distinguer certains attributs comme la diversité ou la dispersion dans la photo.

< 0.05, *** $p < 0.01$. RPL est modèle de logit à coefficients aléatoires. MNL est le modèle de logit multinomial

Tableau 5: Évaluation de l'esthétique du paysage : effets des saisons

	MNL		RPL	
	Coef	Erreur-type	Coef	Erreur-type
	(1)	(2)	(3)	(4)
Coefficients				
ASC	0,708***	(0,159)	0,533**	(0,229)
ASC*automne	-0,750***	(0,236)	-1,027***	(0,351)
Coût	-0,002***	(0,001)	-0,004***	(0,001)
Diversité intermédiaire	0,071	(0,113)	0,264*	(0,143)
Diversité intermédiaire*automne	0,440**	(0,186)	0,700***	(0,249)
Diversité élevée	0,155	(0,127)	0,495***	(0,164)
Diversité élevée*automne	0,344*	(0,201)	0,490*	(0,271)
Dispersion intermédiaire	-0,177	(0,125)	-0,107	(0,152)
Dispersion intermédiaire*automne	0,672***	(0,198)	1,028***	(0,257)
Dispersion élevée	-0,326**	(0,145)	-0,230	(0,187)
Dispersion élevée*automne	0,887***	(0,222)	1,304***	(0,302)
Naturalité semi	0,201	(0,125)	0,445***	(0,160)
Naturalité semi*automne	0,671***	(0,198)	1,133***	(0,267)
Naturalité intacte	0,698***	(0,151)	1,140***	(0,214)
Naturalité intacte*automne	0,489**	(0,235)	0,651*	(0,342)
Absence de perturbation	0,583***	(0,086)	0,801***	(0,125)
Absence de perturbation*automne	-0,067	(0,127)	-0,050	(0,186)
Écarts-type				
ASC			2,028***	(0,112)
ASC*automne			0,987***	(0,219)
Coût			0,006***	(0,002)
Diversité intermédiaire			0,169	(0,128)
Diversité intermédiaire*automne			0,193	(0,158)
Diversité élevée			0,171	(0,250)
Diversité élevée*automne			0,029	(0,256)
Dispersion intermédiaire			0,140	(0,126)
Dispersion intermédiaire*automne			0,247	(0,155)
Dispersion élevée			0,023	(0,182)
Dispersion élevée*automne			0,703***	(0,170)
Naturalité semi			0,634***	(0,111)
Naturalité semi*automne			0,496**	(0,225)
Naturalité intacte			1,261***	
Naturalité intacte*automne			1,458***	(0,263)
Absence de perturbation			0,977***	(0,124)
Absence de perturbation*automne			0,106	(0,173)
Observations	14220		14220	
Nbre de répondants	790		790	
LL	-5002,9663		-4333,2701	

Notes : Résultats tirés de l'équation 11¹⁴

Source : Fall (2020)

Le tableau 5 présente les estimés de l'équation 11 pour évaluer l'effet des saisons sur la préférence de l'esthétique du paysage. La colonne 1 montre les coefficients des attributs provenant du modèle MNL alors que la colonne 3 présente les effets marginaux du modèle RPL. La colonne 1 nous indique si les ensembles de choix sont illustrés avec des photos prise en été. Les attributs tels que la diversité intermédiaire, la diversité élevée, la dispersion intermédiaire et la naturalité semi n'ont pas d'effet significatif. Par contre dans le modèle RPL où les préférences des individus sont hétérogènes alors la dispersion intermédiaire et la dispersion élevée ne sont pas significatives (colonne 3). Ce résultat indique que le manque de mosaïque des couleurs dans un milieu de paysage forestière affecte négativement l'effet de l'organisation spatiale des éléments du paysage sur la préférence de l'individu. Avec un positif mais significatif effet du coefficient pour le ASC, nos estimations révèlent que les répondants attachent une utilité positive à la situation de statu quo lorsque les photos sont prises en été.

Dans la colonne 1, les coefficients des interactions entre les attributs et la variable du traitement de photo d'automne sont positifs et significatifs. Ces résultats sont robustes lorsque nous estimons le modèle RPL (colonne 3). En effet, lorsque la photo est prise en automne pour illustrer les variations de niveaux dans les ensembles de choix, les effets des attributs sont amplifiés par rapport à une photo prise en été. De plus, le coefficient d'interaction devant la variable ASC est plus élevé que dans l'échantillon avec photo d'été. En d'autres termes, l'utilité de l'individu diminue dans la situation de « laisser-faire ».

Nos résultats révèlent que dans un contexte de paysage forestier, il est difficile de distinguer la variation des dispersions des éléments du paysage en été car plusieurs

¹⁴ Notes : Les erreurs-types robustes sont en parenthèse. Automne est une variable muette égale à 1 si l'individu est confronté à une photo prise en automne lors de l'enquête et 0 si la photo est prise en été. Le niveau faible est la référence. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. RPL est modèle de logit à coefficients aléatoires. MNL est le modèle de logit multinomial.

espèces d'arbres sont de couleur verte durant cette saison. Alors si la photo est prise en été, il est possible pour les répondants de distinguer les mosaïques de couleurs des arbres de différentes espèces. Cette hypothèse se reflète sur nos résultats par des valeurs des coefficients plus élevées pour les photos d'automne.

4.4. TEST D'ÉGALITE DES PRÉFÉRENCES ENTRE LE GROUPE DE CONTRÔLE ET LES GROUPE DE TRAITEMENTS

Après avoir établi que les photos ont des effets sur les préférences des individus pour l'esthétique du paysage forestier, nous testons si la photo a un effet global sur la fonction d'utilité de l'individu. En d'autres termes, nous vérifions si, en comparaison avec le groupe de contrôle, la photo a un effet significatif sur tous les coefficients devant les attributs simultanément. Cela revient à tester l'hypothèse H_0^1 avec un test LR où l'hypothèse nulle suppose l'égalité des préférences entre le groupe de contrôle et le groupe de traitement (avec photo).

Le tableau 6 présente les tests LR de l'égalité des préférences (Swait and Louviere, 1993). Le tableau 6 révèle que les p-values du test sur l'égalité des préférences entre l'échantillon sans photo (groupe de contrôle) et l'échantillon avec photo (groupe de traitement) (H_0^1) et dans un deuxième temps entre l'échantillon avec photo d'été et celui avec photo d'automne (H_0^2) dans les modèles MNL et RPL. Nos résultats montrent que l'hypothèse d'égalité des préférences est rejetée à 1% entre le groupe de contrôle et de traitement dans le modèle RPL et dans le modèle MNL ($p=0,0016$ pour le modèle RPL). L'illustration des scénarios de choix par des photos affecte significativement et globalement la préférence des individus pour l'esthétique du paysage forestier. Et cet effet global est négatif comme indiqué dans le tableau 4.

Tableau 6: Test d'égalité de préférences des individus entre le groupe de contrôle et le groupe de traitement

Type de traitements	Multinomial Logit (MNL)				Modèle à coefficients aléatoires (RPL)			
	(1) LL (contrôle)	(2) LL (traitement)	(3) LL (échantillon joint)	(4) LR test: p-value	(1) LL (contrôle)	(2) LL (traitement)	(3) LL (échantillon joint)	(4) LR test: p-value
Contrôle vs photo (T)	-1249.94	-5013.586	-6281.618	0.000***	-1072.121	-4354.158	-5446.73	0.0016***
Automne (T1) vs Été (T2)	-2551.378	-2448.529	-5013.686	0.001***	-2237.147	-2085.481	-4354.158	0.000***

Source : Fall (2020)

Nous trouvons un résultat similaire lorsque nous comparons l'échantillon avec photo d'automne et celui avec photo d'été. Le tableau 6 montre que le p-value du test LR est inférieur à 1% ($p=0,000$ pour le modèle RPL). Donc l'hypothèse nulle d'égalité des préférences est rejetée. La prise en compte des saisons implique un effet significativement différent dans la fonction d'utilité de l'individu. L'effet de la photo d'automne est significativement positif par rapport à la photo d'été (tableau 5) sur les préférences des individus pour l'esthétique du paysage.

4.5. VAP DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE

Dans le but de tester les hypothèses 3 et 4, i.e. l'égalité des VAP entre l'échantillon avec photo et celui sans photo, nous calculons les VAP moyennes de chaque attribut provenant du tableau 4. La même opération est faite pour comparer l'échantillon avec photo d'automne et celui avec photo d'été. Ces VAP proviennent du des coefficient du tableau 5.

Le tableau 7 montre la moyenne des VAP pour l'amélioration de l'esthétique du paysage par rapport au niveau faible provenant du tableau 4 avec le modèle de MNL. La colonne 1 présente la moyenne des VAP pour l'échantillon sans photo. Les VAP de la diversité intermédiaire, de la diversité élevée, d'absence de perturbation, de la dispersion intermédiaire, de la naturalité intacte et de la naturalité semi sont positives et significatives.

	Coef	Erreur-type	Coef	Erreur-type	Statistique	p-value	Coef	Erreur-type	Coef	Erreur-type	Statistique	p-value
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Diversité intermédiaire	278.141***	(95.056)	83.801**	(40.407)	7.08	0.0078	259.511**	(121.463)	36.061	(59.407)	1.53	0.2158
Diversité élevée	284.378***	(90.468)	99.572**	(39.954)	7.21	0.0073	252.833**	(114.052)	78.489	(63.885)	0.36	0.547
Dispersion intermédiaire	134.419*	(77.902)	40.092	(36.921)	2.12	0.1457	250.921**	(115.799)	-89.930	(72.311)	4.01	0.0453
Dispersion élevée	91.228	(82.100)	25.193	(41.201)	0.86	0.3545	284.905**	(123.031)	-165.405	(102.930)	4.56	0.0328
Naturalité semi	328.570***	(98.512)	184.854***	(49.774)	7.07	0.0078	442.640***	(160.652)	102.138	(65.882)	1.85	0.1737
Naturalité intacte	542.758***	(138.531)	350.069***	(79.706)	10.25	0.0014	602.272***	(212.148)	354.304***	(122.015)	0.38	0.5373
Absence perturbation	280.971***	(79.008)	208.587***	(53.574)	7.92	0.0049	261.848**	(104.070)	295.638***	(107.113)	5.35	0.0208
Observations												

Notes : Les erreurs-types robustes sont en parenthèse. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. RPL est modèle de logit à coefficients aléatoires. MNL est le modèle de logit multinomial. Les VAP de l'échantillon sans photo et de l'échantillon avec photo viennent du tableau 4. Et les VAP de l'échantillon avec photo d'automne et les VAP de l'échantillon avec photo d'été proviennent du tableau 5. Le test de Wald teste l'égalité des VAP entre les différents échantillons. L'hypothèse nulle est l'égalité des VAP.

Tableau 8: VAP des attributs de l'esthétique du paysage (modèle de logit à coefficients aléatoires)

	RPL																
	Groupe de contrôle			Traitement (photo)			Wald-test			Traitement 1 (Automne)			Traitement 2 (Été)			Wald-test	
	Coef	Erreur-type		Coef	Erreur-type	Statistique	p-value			Coef	Erreur-type	Statistique	p-value	Coef	Erreur-type	Statistique	p-value
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)					
Diversité intermédiaire	252,159***	(67,618)	100,104***	(32,757)	10,75	0,001	261,252***	(91,526)	71,483	(44,303)	1,41	0,2355					
Diversité élevée	288,113***	(69,763)	129,690***	(33,787)	12	0,0005	267,052***	(89,303)	134,159***	(50,312)	0	0,9867					
Dispersion intermédiaire	132,514**	(53,772)	61,450**	(27,954)	3,63	0,0566	249,487***	(85,428)	-29,047	(42,382)	5,55	0,0185					
Dispersion élevée	109,884*	(60,121)	51,035	(31,867)	1,88	0,1707	290,913***	(94,557)	-62,390	(56,533)	5,92	0,0150					
Naturalité semi	294,401***	(71,936)	178,284***	(39,558)	10,3	0,0013	427,689***	(118,477)	120,639**	(47,859)	2,49	0,1149					
Naturalité intacte	472,949***	(99,745)	286,212***	(56,436)	14,9	0,0001	485,446***	(136,700)	308,991***	(83,085)	1,01	0,3144					
Absence perturbation	219,697***	(54,548)	169,402***	(36,632)	8,79	0,003	203,609***	(65,576)	217,119***	(61,544)	6,46	0,011					
Observations			17964								14220						
Répondants			998								790						

Notes : Les erreurs-types robustes sont en parenthèse. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. RPL est modèle de logit à coefficients aléatoires. Les VAP de l' échantillon sans photo et de l' échantillon avec photo viennent du tableau 4. Et les VAP de l' échantillon avec photo d' automne et les VAP de l' échantillon avec photo d' été proviennent du tableau 5. Le test de Wald teste l' égalité des VAP entre les différents échantillons. L' hypothèse nulle est l' égalité des VAP.

Source : Fall (2020)

En particulier, la VAP pour passer d'une diversité faible à une diversité intermédiaire est de 278,141\$, alors qu'elle est de 284,378\$ pour la diversité élevée. Les individus sont prêts à payer 134,419\$ pour la dispersion intermédiaire mais la dispersion élevée n'est pas significative. Les individus sont prêts à payer 280,971\$ pour que le paysage ne contienne pas des éléments perturbation tels que les fils électriques. La VAP pour la naturalité semi et la naturalité intacte par rapport à la naturalité faible, est de respectivement 328,570\$ et 542,758\$. La naturalité est l'attribut le plus préféré par le répondant (Ode et al., 2009 ; Simonič, 2003) en particulier en présence de zones naturelles protégées (Willemen et al., 2008 ; Kienast et al., 2009).

La colonne 3 présente les VAP de l'échantillon avec support visuel pour illustrer les variations des attributs dans les ensembles de choix. Les VAP de la dispersion élevée et de la dispersion intermédiaire ne sont pas significatives. Par contre, avec la présence de photo, la VAP diminue de 69,87% pour la diversité intermédiaire et 64,99% pour la dispersion élevée par rapport au groupe de contrôle. La naturalité semi et la naturalité intacte est réduite respectivement 43,74% et 35,49%. Par contre, la plus faible baisse par rapport au groupe de contrôle est enregistrée pour l'absence de perturbation avec 25,76%.

La colonne 6 présente un test de comparaison entre les VAP dans les échantillons avec photo et sans photo en utilisant le test de Wald. Nous rejetons l'hypothèse d'égalité des VAP pour les attributs de la naturalité, de la diversité et d'absence de perturbation. Par contre, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des VAP entre le groupe de contrôle et le groupe de traitement pour l'attribut de la dispersion.

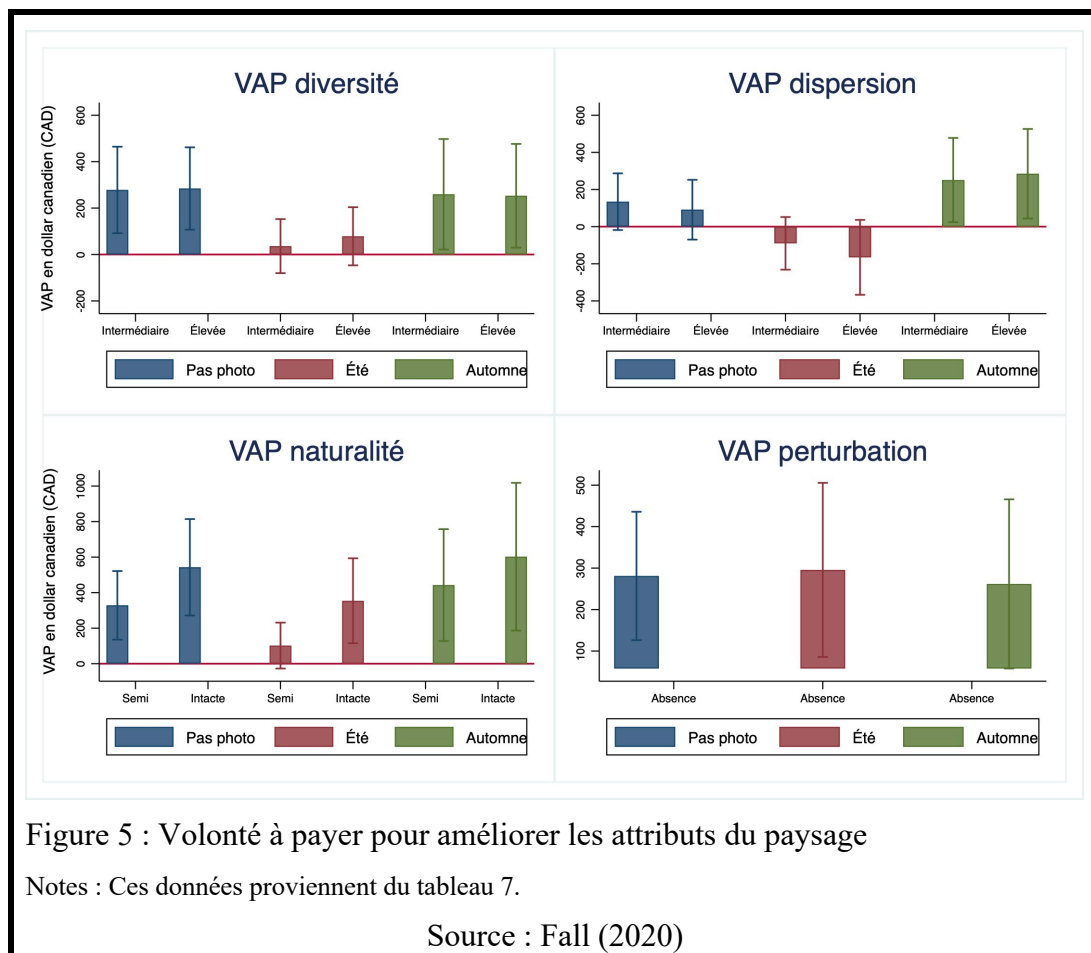
Dans le tableau 8, les résultats restent robustes si nous estimons les VAP avec le modèle RPL. Par contre, la VAP de dispersion élevée devient significative dans le

groupe de contrôle ainsi que la VAP de dispersion intermédiaire dans le groupe de traitement (avec photo).

Nous relaxons l'hypothèse selon laquelle l'impact de la photo est le même quelle que soit la saison dans laquelle la photo a été prise pour illustrer le paysage. Le raffinement de l'analyse permet d'expliquer les raisons de la baisse de la VAP lorsque les ensembles de choix sont illustrés par une photo. La colonne 7 et 9 du tableau 7 montre respectivement les VAP de l'échantillon avec photo d'automne et photo d'été. Par rapport au groupe de contrôle, les VAP de la diversité intermédiaire baisse de 6,69% dans l'échantillon avec photo d'automne et 87,03% dans l'échantillon avec photo d'été. Pour la diversité intermédiaire par exemple, la VAP augmente de 86,36% dans l'échantillon avec photo en automne mais est négative dans le modèle avec photo d'été.

Concernant la naturalité intacte, la VAP baisse de 35,23% dans le modèle avec photo d'été et augmente de 11,5% dans l'échantillon avec photo d'automne par rapport au groupe de contrôle. Par contre, la seule hausse de la VAP par rapport à l'échantillon avec photo d'automne et groupe de contrôle est observée pour l'absence de perturbation. La VAP baisse de 6,78% dans l'échantillon de photo d'automne et augmente de 5,53% dans l'échantillon de photo d'été.

La figure 5 met en lumière les différences VAP selon les groupes de traitement et le groupe de contrôle. La figure 5 montre que les photos en automne ou en été a peu d'influence sur l'effet de l'absence de perturbation sur le bien-être. Par contre, la photo d'automne permet d'améliorer la VAP de la dispersion par rapport au groupe de contrôle. Concernant les attributs de la diversité et de la naturalité, la photo d'automne a une influence positive sur le bien-être. La photo prise en été détériore fortement la perception de l'individu sur l'importance de la diversité, de la naturalité et surtout de la dispersion dans l'esthétique du paysage. La saison a une influence importante de la perception de l'esthétique du paysage dans la région de Charlevoix.



En résumé, la visualisation du changement de l'esthétique du paysage dans les ensembles de choix améliore la VAP des attributs du paysage en particulier lorsque les photos sont prises en automne. Les canaux par lesquels les photos pourraient améliorer l'esthétique du paysage peuvent être la réduction de la complexité des ensembles de choix, la visualisation des changements de l'esthétique du paysage et la réduction de la non-considération des attributs du paysage.

4.6. ROBUSTESSE SUR LE CALCUL DE LA VAP : MÉTHODE DE TRAIN ET AL. (2005) (« WTP SPACE ¹⁵ »).

¹⁵ « WTP space » signifie willingness to pay space

Dans la section précédente, nous avons calculé les VAP pour l'amélioration de l'esthétique du paysage, en estimant dans une première étape l'équation 2 par la méthode RPL pour obtenir les différents coefficients des attributs et du coût. Puis, dans une deuxième étape, nous avons déduit la VAP d'un attribut par le ratio négatif entre le coefficient de cet attribut et celui du coût. Cependant, selon Train *et al.* (2005), si chaque coefficient suit une loi normale dans la méthode RPL, alors la VAP qui est le ratio du coefficient de l'attribut et celui du coût ne suit pas une loi normale. Ces auteurs proposent de calculer la VAP en une seule étape, en supposant ce ratio suit directement une loi normale. Par conséquent, cette méthode suppose une hétérogénéité individuelle de la VAP. Cette hypothèse est cohérente avec la préférence pour l'esthétique du paysage qui est une notion très subjective et intangible.

Tableau 9¹⁶: Volonté à payer pour l'amélioration de l'esthétique du paysage

	Coef	Erreur-type
	(1)	(2)
Coefficients		
ASC	41,363	(32,958)
Coût	-5,276***	(0,187)
Diversité intermédiaire	128,157***	(34,928)
Diversité élevée	185,279***	(34,686)
Dispersion intermédiaire	72,750***	(25,664)
Dispersion élevée	84,312***	(26,083)
Naturalité semi	241,209***	(41,553)
Naturalité intacte	358,853***	(62,355)
Absence de perturbation	191,236***	(34,135)
Écart-type		
ASC	433,543***	(76,064)
Coût	0,810***	(0,188)
Diversité intermédiaire	43,857	(29,434)
Diversité élevée	52,765**	(26,760)
Dispersion intermédiaire	7,475	(9,385)
Dispersion élevée	81,638***	(23,017)
Naturalité semi	219,548***	(44,184)
Naturalité intacte	296,739***	(71,230)
Absence de perturbation	152,502***	(55,334)
Observations	17964	
Nbre de répondants	998	

Source : Fall (2020)

¹⁶ Notes : Les erreurs-types robustes sont en parenthèse. Le niveau faible est la référence. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Les VAP sont exprimées par rapport au niveau le plus faible. Nous avons utilisé la méthode de « *WTP-space* » (Train et al, 2005). Coef est l'abréviation de coefficient.

La tableau 9 montre les résultats de l'estimation de l'équation 5 par la méthode de Train *et al.* (2005) dans l'échantillon total. Les VAP des attributs sont significatives et positives. Plus précisément, l'individu est prêt à payer respectivement 128,157\$ (185,279\$) pour améliorer la diversité du paysage de faible à intermédiaire (élevée). L'individu est prêt à payer 191,236\$ pour éviter la présence d'éléments perturbateurs dans le paysage. La naturalité du paysage est l'attribut le plus préféré par les répondants de notre enquête puisque la VAP de la naturalité semi et de la naturalité intacte est respectivement de 358,853\$ et 219,548\$. L'attribut le moins préféré est celui de la dispersion dont la VAP pour dispersion intermédiaire représente 72,750\$ et celle pour la dispersion élevée 84,312\$. Les écarts-types de la distribution de VAP sont significatifs sauf pour la dispersion intermédiaire ce qui montrent que les VAP de chaque attribut sont hétérogènes et dépendent de l'appréciation subjective du paysage par l'individu. Nos résultats sur la VAP restent robustes avec la méthode de Train *et al.* (2005), en particulier la naturalité est l'attribut le plus préféré par les répondants.

5. CONCLUSION

L'intégration de l'esthétique du paysage est un enjeu important pour la protection des ressources forestières. Plus précisément, les paysages de Charlevoix sont un axe central du développement local à travers le secteur touristique. Dans ce chapitre, sur la base d'une enquête de choix expérimentaux en ligne, nous avons recueilli les données de 998 personnes sélectionnées aléatoirement dans la province de Québec et estimé la valeur de l'esthétique du paysage dans le but d'aider à la prise de décision en matière de politique forestière. Pour les 4 attributs du paysage forestier, soit la diversité, la dispersion, la naturalité et la perturbation, nos résultats montrent que les Québécois sont prêts à payer un montant positif pour faire passer leur niveau de niveau faible à intermédiaire / élevé dans la plupart des cas. La VAP marginale la plus élevée est pour l'attribut naturalité, pour l'absence perturbations et pour la diversité.

Les répondants peuvent rencontrer des difficultés pour évaluer la dispersion des attributs, en particulier lorsque les scénarios sont simplement décrits par du texte, sans illustration visuelle par des photos. Nous avons également testé l'impact de la présence de photos illustrant les scénarios hypothétiques présentés dans différents ensembles de choix sur les préférences des individus pour l'esthétique du paysage forestier. Nos résultats confirment le rôle des photos pour améliorer la valeur de l'esthétique du paysage surtout si elles sont prises à l'automne. Nous pensons qu'un tel résultat est importante, en particulier pour l'étude de valorisation du paysage forestier, puisque les photos prises à l'automne permettent une meilleure visualisation des changements d'attributs tels que le naturel, la dispersion et la diversité.

Ce chapitre offre des perceptions relative à la cartographie de l'esthétique du paysage. En effet, le grand défi en cartographie est de trouver la photo qui illustre le plus fidèlement possible la zone d'étude afin d'éviter de biaiser les résultats (Dramstad *et al.*, 2006).

Ce chapitre essaie de répondre aussi à la nécessité de représenter l'esthétique du paysage par une image. En effet, la représentation mentale d'un endroit précis est largement étudiée dans la littérature neurologique et psychologique sous le nom de carte cognitive. La carte cognitive peut être une représentation neurale du paysage dans lequel l'individu se situe ce qui lui permet de s'orienter (Breed et Moore, 2015). La carte cognitive peut correspondre aussi à utiliser toute l'information autour de l'individu pour faire une représentation spatiale de son environnement afin de réduire son niveau d'incertitude (Federmeier, 2018 ; Squire *et al.*, 2009). Dans le cas de figure de notre étude, lorsque l'individu n'a pas de photo dans ses ensembles de choix, il essaie d'imaginer le paysage selon ses connaissances, son environnement et les caractéristiques du questionnaire.

DEUXIÈME CHAPITRE : CARTOGRAPHIE DE LA VALEUR DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE DANS LES MODÈLES DE CHOIX DISCRET DANS LA RÉGION DE CHARLEVOIX (QUÉBEC)

1. INTRODUCTION

L'esthétique du paysage joue un rôle important dans l'amélioration de la qualité de vie, la santé psychologique des individus et développement économique à travers le tourisme (Kaplan *et al.*, 1989 ; Ode and Fry, 2002). À cet effet, la quantification et la cartographie de l'esthétique du paysage sont souvent employées pour aider les décideurs politiques à préserver la forêt et de visualiser les éventuels effets des activités sylvicoles dans le paysage. Cependant, il reste rare d'intégrer la valeur économique de l'esthétique du paysage dans la planification forestière due à la difficulté de quantifier l'esthétique via la préférence de l'individu étant donné que cette mesure est généralement considérée comme très subjective et intangible (Chan et al, 2012, Casado-Arzuaga et al 2014).

De notre point de vue, la valeur de l'esthétique du paysage est dépendante de la localisation de l'individu. En effet, les préférences subjectives pour l'esthétique du paysage des individus sont étroitement liées à leur localisation spatiale ou plus précisément à leurs lieux d'habitation. Et d'un point de vue objectif, la distribution du paysage est, dans de multiples cas, spécialement hétérogènes. Van Zanten *et al.* (2014) ont aussi porté l'attention que le paysage doit être lié aux caractéristiques physiques du paysage vécues par le répondant. De ce fait, les informations détaillées sur la distribution spatiale du paysage est utile pour les décideurs publics comme elles permettent de fournir le modèle géographique de la préférence individuelle (Campbell et al. 2009, Naidoo and Ricketts, 2006).

En ce qui concerne l'élaboration des politiques liées à la gestion forestière, les études de Badura *et al.* (2019) et celle de Casado-Arzuaga *et al.* (2014) démontrent que

les politiques environnementales sont susceptibles d'influencer l'esthétique du paysage via à la fois les mesures de protection de l'environnement et leur interaction avec les activités touristiques locales. Par conséquent, l'intégration des valeurs du paysage dans la conception des politiques de gestion forestière nécessite l'identification et la cartographie des zones sensibles.

Différentes méthodes ont été pratiquées pour cartographier la valeur de l'esthétique du paysage en s'appuyant sur deux approches : une approche qualitative et celle quantitative. Parmi les méthodes qualitatives, Burkhard *et al.* (2009) introduisent l'évaluation des services écosystémiques basée sur les classes de couvertures de terres aussi appelé écosystème-matrice (ES-matrice) (Jacobs *et al.*, 2015). Cette matrice est concrètement une table de consultation qui relie la capacité des types de couvertures de terre à fournir des services écosystémiques comme les services récréatifs et les valeurs du paysage. C'est une évaluation faite par des experts sur une échelle de 1 à 5. Cependant, des auteurs mettent en évidence des problèmes méthodologiques de cette méthode à cause du manque de transparence méthodologique, de la faible rétractabilité et de l'incertitude des matrices et des jugements des experts (Hou *et al.*, 2012, Campagne *et al.*, 2017). Van Berkel and Verburg (2014) développent un modèle basé sur les préférences du paysage collectées via un questionnaire par les touristes du site d'étude. Plus précisément, la méthode de la "structure et la composition du paysage" consiste à évaluer la préférence des répondants par le classement de différentes photos satellites représentant la structure et la composition du paysage. Ensuite, la cartographie de l'esthétique du paysage de la zone d'étude est effectuée en pondérant sa valeur par le nombre de répondants choisissant une série de photos satellites.

Parmi les méthodes quantitatives de la cartographie de l'esthétique du paysage, une nouvelle littérature a émergé basée sur la cartographie de la densité des photos géolocalisées provenant des réseaux sociaux. Van Zanten *et al.* (2016b) utilisent la base des données des photos géolocalisées provenant des plateformes de réseaux sociaux

comme Panoramio, Flickr, et Instagram pour évaluer l'esthétique du paysage de plusieurs pays européens. La valeur du paysage est reliée au nombre d'individus prenant une photo dans une aire de 5 Km x 5 Km. Cependant, cette méthodologie basée sur les préférences révélées est devenue de plus en plus difficilement applicable à cause de la restriction des bases de données des réseaux sociaux pour des raisons sécuritaires et de protection de vie privée. La dernière méthode, développée par Van Zanten *et al.*, (2016a), utilisent une enquête de choix expérimentaux (préférence déclarée) pour évaluer la probabilité qu'une zone soit choisie basée sur les préférences du répondant. Cette méthodologie combine les données de système d'information géographique (SIG) avec les données de choix expérimentaux. Cette approche permet d'incorporer les données de préférences individuelles et les attributs du paysage dans une carte.

Dans ce papier, basée sur une enquête de la méthode des choix expérimentaux effectuée sur la sélection d'un échantillon aléatoire de la population générale Québécoise âgée de plus de 18 ans, nous allons d'abord mesurer la VAP marginale d'un Québécois représentatif pour quatre dimensions des attributs de l'esthétique du paysage (diversité, dispersion, naturalité, perturbation) spécialement identifiés dans la région de Charlevoix. Inspirée par l'approche de l'« analyse focale » proposée par Van Zanten *et al.* (2016) et basée sur les données SIG du 5e résultat d'inventaire et de cartographie écoforestière, nous quantifions et cartographions la probabilité qu'un québécois représentatif âgé de plus de 18 ans visite chaque unité du paysage forestier de 1km x 1km dans la région de Charlevoix (3087 unités du paysage au total dans le site d'étude). Finalement, nous incorporons la distribution spatiale de la préférence de l'esthétique du paysage basée sur une analyse de point chaud (McPhearson et al., 2013 ; Zhu et al., 2010) pour nous assurer que les valeurs élevées ne sont pas sélectionnées aléatoirement. Ensuite, les zones à valeurs élevées sont identifiées et nous évaluons la corrélation entre les zones à valeur élevées de l'esthétique du paysage avec les traitements sylvicoles existants (Pâquet and Bélanger, 1998 ; Pâquet and Bélanger,

1997), perturbations artificielles¹⁷ (Li and Lin, 2019) et les zones touristiques (Casado-Arzuaga et al., 2013).

Finalement, nous testons la validité de notre étude en faisant des traitements avec des questionnaires avec et sans photo, et avec des questionnaires avec des photos prises en automne et en été. Ces traitements permettent de vérifier la sensibilité de nos résultats selon les caractéristiques de la photo de référence. En effet, le choix des photos de référence pourrait être crucial pour la validité de la cartographie du paysage (Hoffman et Palmer, 1995 ; Hull IV et Stewart, 1992).

Nos résultats montrent que la naturalité de l'esthétique est l'attribut le plus préféré par les répondants (Ode et al., 2009 ; Simonič, 2003) et les unités de paysage avec des valeurs élevées sont localisées dans les zones naturelles (Willemen *et al.*, 2008 ; Kienast *et al.*, 2009). La corrélation entre les unités de paysage à valeur élevées et les zones touristiques est faible (15% de chevauchement entre les deux zones). Les zones touristiques ne sont pas un bon proxy pour évaluer la valeur de l'esthétique du paysage dans la région de Charlevoix. Finalement, la majorité des coupes de bois effectuée dans la zone d'étude est compatible avec la préservation visuelle de l'esthétique du paysage (Pâquet and Bélanger, 1997). Afin de tester la robustesse de nos résultats, nous avons montré que les photos renforcent la robustesse des unités de paysage à valeurs élevées, mais affectent peu le nombre de zones à qualité visuelle.

La contribution de notre étude est d'aider à intégrer la valeur de l'esthétique du paysage dans les stratégies de planifications forestières basées sur les systèmes d'information géographique (SIG) et sur les préférences des individus. Nous avons identifié les zones sensibles qui doivent être considérées avec un traitement sylvicole spécial dans l'aménagement forestier. Notre méthode intègre la préférence du paysage influencée par la localisation du répondant. Les informations sur la distribution spatiale

¹⁷ Lignes électriques et routes

de la préférence de l'esthétique sont utiles pour les décideurs pour localiser précisément les zones sensibles et visualiser les effets actuels et futurs sur les politiques forestières sur l'esthétique du paysage

Notre étude est liée à la littérature sur l'intégration de l'esthétique du paysage dans les décisions de la planification, la sensibilité de la cartographie selon la photo référence de la zone d'étude (Boutin et Hebert, 2002 ; Zoderer et *al.*, 2019) et la méthode de part de marché de Louviere *et al.* (2000). Cette cartographie permet de visualiser les zones préférées par les répondants dans le site d'étude dans une unité particulière d'aménagement forestière pour leur prise en considération dans les politiques de planification forestière.

Ce chapitre est divisé en trois principales sections : la section 2 nous renseigne sur la zone d'étude et les pratiques de planification forestière actuelles, la section 3 développe le modèle de choix expérimentaux utilisée et enfin la section 3 est basée sur la cartographie de la valeur de l'esthétique du paysage, l'identification des zones à qualité visuelle, l'impact des traitements sylvicoles sur ces zones, la corrélation entre les zones sensibles et les zones touristiques et enfin l'impact des photos sur la cartographie de la valeur de l'esthétique du paysage. Nous allons conclure et discuter des résultats dans la section 4.

2. ZONE D'ÉTUDE

Nous avons choisi l'unité d'aménagement¹⁸ localisée dans les MRC (Municipalités Régionales de Comté) de la Côte-de-Beaupré (4%) de Charlevoix (31%), de Charlevoix-Est (34%) et du Fjord-du-Saguenay (31%)¹⁹ (voir figure 6). Plus particulièrement, nous nous limitons à Charlevoix-Est dans notre étude. À l'intérieur

¹⁸ Unité d'aménagement 033-51

¹⁹ Sources : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/consultation/capitale-nationale/unite-amenagement-033-51.pdf>

de l'UA se trouve le Parc national des Hautes-Gorges-de-la-Rivière, Malbaie et est bordée par le Parc national des Grands-Jardins et par le Parc national du Saguenay à l'est. Le territoire comporte des sites de pêche et chasse et un large éventail d'activités récréatives (ski, sentiers, escalade) et de sites touristiques grâce à la beauté de son paysage. La superficie totale de l'UA est de 398 094 ha dont (62%) est destinée à la production forestière. L'UA pratique des politiques d'aménagement forestière spéciale afin de préserver les aires protégées, les refuges biologiques, les réserves écologiques, les territoires affectés à la protection de certaines valeurs notamment fauniques et récréotouristiques et les territoires à contraintes biophysiques ou exclut l'exploitation en excluant l'exploitation forestière dans ses zones.

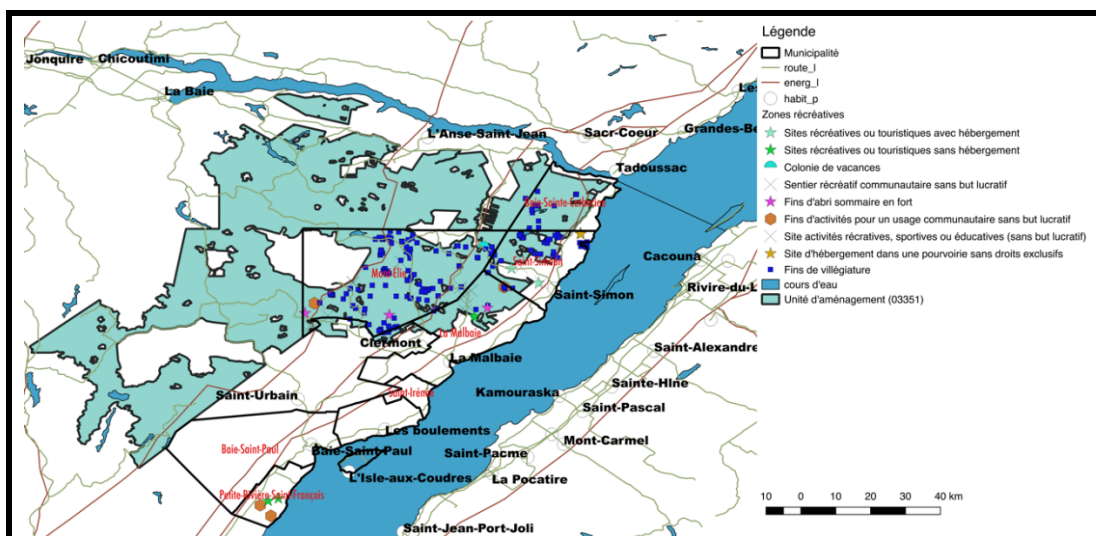


Figure 6: Unité d'aménagement forestier et site d'étude pour la période 2013 – 2018

Note : L'unité de paysage correspond à l'UA 033 – 51. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/unite-d-amenagement>; Les données sont compilées par l'auteur sur ArcGis pour produire la carte.

Source : Fall (2020)

2.1. ÉTAT DE PLAN D'AMÉNAGEMENT FORESTIER (2013 – 2018)

L'objectif²⁰ du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) est d'assurer la gestion de la forêt publique afin de favoriser l'utilisation industrielle des ressources forestières, la protection et la mise en valeur des ressources des ressources fauniques, énergétiques et minières du territoire. En d'autres termes, le MFFP vise à mettre en place des plans de développement durable dans la gestion forestière pour la population locale puisse accéder et profiter de manière pérenne des ressources forestières. Un Plan d'Aménagement Forestier Intégré Tactique a été mis en place pour la période 2013-2018, pour définir l'ensemble de stratégies de planification forestière répondant aux besoins et aux objectifs de la population locale ainsi que la protection des zones protégées.

2.2. OBJECTIF DE LA PLANIFICATION FORESTIÈRE

La stratégie d'aménagement forestière¹⁰ est un processus dans lequel un ensemble d'action est mis en place pour satisfaire les objectifs en termes d'aménagement. Ce processus tient compte des impacts environnementaux, sociaux et économiques donc il nécessite une concertation avec tous les acteurs locaux pour aboutir à une solution optimale. Les plans d'action consistent à identifier une unité d'aménagement tout en intégrant les objectifs en termes de mise en valeur, de protection, développement local ou d'usage de l'unité en concertation avec les acteurs locaux. L'objectif est de produire des plans d'aménagement conformes à la vision de la population. Par conséquent, il existe un ensemble de contraintes, en vertu du Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'état des sites exclus de toute exploitation forestière ou d'autres nécessitant une attention particulière notamment :

²⁰ Sources : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/consultation/capitale-nationale/unite-amenagement-033-51.pdf>

- La protection de sites récréatifs et touristiques, notamment des paysages visuellement sensibles ;
- La protection des habitats fauniques ;
- La protection de sites culturels ;
- La protection de sites importants pour les autochtones ;
- La protection des sols et de l'eau ;
- La protection des écosystèmes fragiles et des espèces vulnérables ;
- Le maintien de la productivité des écosystèmes ;
- L'utilisation optimale des bois ;

Le but de notre étude est d'illustrer les données sur la valeur de l'esthétique du paysage de la population du Québec dans les zones d'aménagement forestier. La valeur de l'esthétique obtenue, respecte les prérogatives du MFFP parce que, les attributs du paysage sont définis en concertation des acteurs locaux de la région de Charlevoix et enfin qu'ils reflètent les préférences de la population locale.

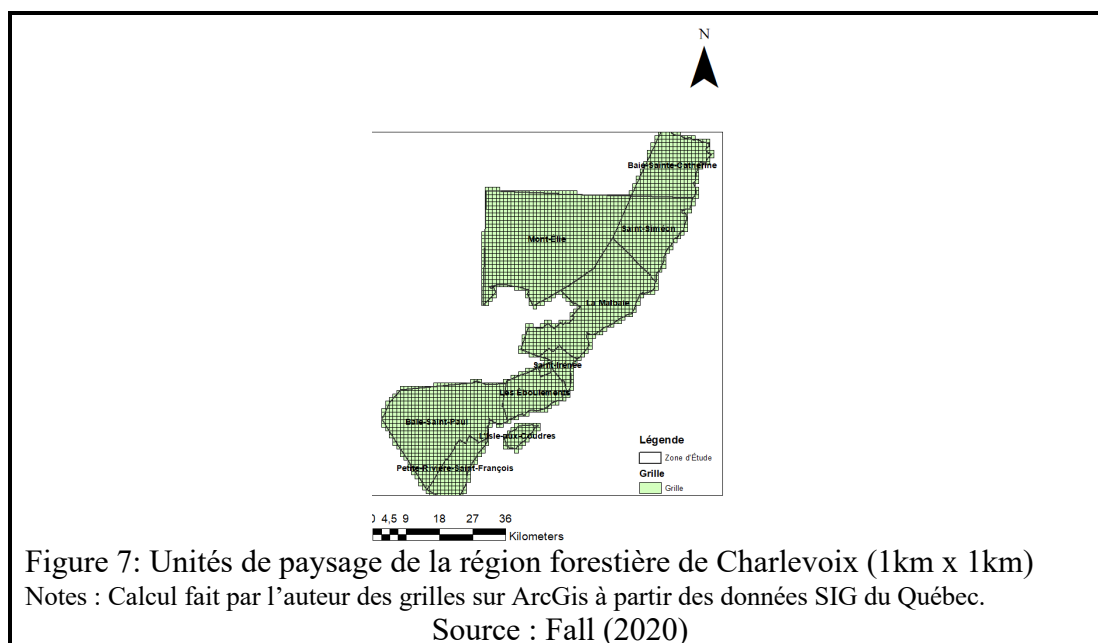
3. MÉTHODE DES CHOIX EXPÉRIMENTAUX

La préférence sur la valeur de l'esthétique du paysage provient de notre enquête en ligne de choix expérimentaux dans laquelle nous avons sélectionné aléatoirement 998 Québécois âgée de plus de 18 ans provenant d'un large panel de la population générale du Québec. Comme décrit dans le chapitre précédent, nous avons choisi 4 attributs : la diversité, la dispersion, la naturalité et l'absence de perturbation. 790 individus ont reçu un questionnaire avec photo de la zone d'étude pour illustrer la variation des niveaux des attributs dans les ensembles de choix alors que 208 individus ont reçu un questionnaire sans photo. Parmi les questionnaires avec photo, nous avons envoyé 401 questionnaires avec photo d'automne et 389 questionnaires avec photo d'été. Selon les résultats du chapitre 1 sur les VAP, le tableau 7 montre que la VAP de

la naturalité est la plus élevée suivi de celle de l'absence de perturbation, de la diversité et de la dispersion. Lorsque les ensembles de choix sont illustrés par une photo d'automne, les VAP de la dispersion et de la naturalité augmentent par rapport à celles issues d'un échantillon avec photo prise en été. Par conséquent, nous nous attendons à ce que les individus préfèrent visiter les zones naturelles, sans perturbation dans la zone d'étude. Par contre en automne, la probabilité qu'une zone soit visitée augmentent si cette zone est naturelle et la dispersion des couvertures de terre y est élevée.

4. MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DE LA VALEUR DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE

Dans le but de quantifier et de cartographier la valeur esthétique du paysage, nous combinons les données de SIG et les résultats obtenus de la méthode des choix expérimentaux. Nous développons notre méthodologie (voir la figure 35 dans l'annexe B) basée sur l'article de Louviere *et al.* (2000) et adaptée à la structure de nos données. La principale idée est de calculer la probabilité pour un répondant représentatif de choisir une unité de paysage spécifique de 1km x 1km du site d'étude par rapport à toutes les unités de paysage possibles. La figure 7 illustre les 3087 unités de paysage de la région forestière de Charlevoix.



La méthodologie est basée premièrement à l'estimation du modèle logit à coefficients aléatoires (RPL) présenté dans le chapitre précédent pour calculer la probabilité qu'un individu choisisse une alternative par rapport à toutes les autres alternatives possibles. La deuxième étape consiste à associer les probabilités simulées à chaque 1km x 1km unité de paysage forestier sur la carte. Pour exécuter cette association, nous déterminons les informations géospatiales aux niveaux correspondants des quatre attributs utilisés pour définir l'esthétique du paysage. Cette étape nous permet de classer les 3087 unités de paysage forestier de la région de Charlevoix en 54 scénarios provenant de la combinaison des niveaux des attributs. Finalement, nous allons associer la probabilité pour un individu représentatif de visiter une unité de paysage selon la probabilité calculée dans l'équation 18. De ce fait, pour chaque grille ou unité de paysage sur la carte, nous pouvons exprimer la probabilité que cette unité soit choisie et cette méthode peut approximer la valeur de l'esthétique du paysage sur la carte et capture toute la complexité de cette valeur.

Pour la première étape, provenant du modèle RPL (Train, 2003 ; Hole, 2007), nous définis S_i , la probabilité d'observer la séquence de choix conditionnelle sachant β_i :

$$S_i(\beta_i) = \prod_{t=1}^T \frac{\exp(\beta_1 ASC + \boldsymbol{\beta} x_{ijt})}{\sum_{k=1}^J \exp(\beta_1 ASC + \boldsymbol{\beta} x_{ikt})} \quad \text{Éq. 18}$$

$\boldsymbol{\beta}$ est le vecteur des coefficients des attributs x_{ijt} . La probabilité inconditionnelle de la séquence observée des choix est conditionnelle à la distribution de la probabilité $\boldsymbol{\beta}$:

$$P_n(\theta) = \int S_i(\beta_i) f(\beta|\theta) d\beta \quad \text{Éq. 19}$$

Avec $f(\boldsymbol{\beta}|\boldsymbol{\theta})$ la densité de la distribution des coefficients qui suit par hypothèse une distribution normale. L'équation 19 signifie que la probabilité inconditionnelle est la moyenne pondérée des produits des fonctions logit évaluées à différentes valeurs de $\boldsymbol{\beta}$ dans laquelle les poids sont données par la fonction f :

Soit $LL(\theta) = \sum_{i=1}^n \ln P_n(\theta)$ la fonction du modèle de vraisemblance. Selon Hole (2007) cette fonction ne peut pas être calculée analytiquement, de ce fait, l'auteur préconise une simulation du log vraisemblance de la manière suivante :

$$SLL(\theta) = \sum_{i=1}^n \ln \left[\frac{1}{R} \sum_{r=1}^R S_i \beta^r \right] \quad \text{Éq. 20}$$

Avec R le nombre de répliques et β^r , le r -ième tirage provenant de la densité $f(\boldsymbol{\beta}|\boldsymbol{\theta})$

Pour tenir compte des effets des photos, nous estimons l'équation 18 en séparant l'échantillon total en sous-échantillons avec photo et sans photo d'une part et d'autre part en sous-échantillons avec photo d'automne et photo d'été.

Nous pouvons alors dériver, conformément à l'approche des parts de marché de Louviere *et al.* (2000), la probabilité prédite pour un individu i de choisir une alternative ou scénario par rapport aux 53 ($2*3*3*3-1$) autres combinaisons. En d'autres termes, à partir de l'équation 18, nous pouvons dériver les probabilités prédites \hat{S}_i correspondant à la probabilité qu'une alternative ou un scénario soit choisi par rapport à toutes les autres combinaisons possibles pour chaque modèle. Le tableau 10 présente les probabilités prédites simulées des 54 scénarios selon l'échantillon globale, les sous-échantillon avec photo, sans photo, photo d'automne et photo d'été.

Tableau 10: Probabilités simulées pour choisir une alternative parmi toutes les alternatives possibles²²

		Scénarios Attributs		Probabilités					
				RPL					
				Échantillon globale		Photo		Automne	
	Perturbation	Diversité	Dispersion	Naturalité		OUI	NON	OUI	NON
1	absence	faible	élevée	élevée	5,06	6,21	4,03	4,86	5,2
2	absence	faible	élevée	faible	0,56	0,61	0,19	0,49	0,49
3	présence	élevée	faible	élevée	1,2	1,23	1,67	1,15	1,59
4	présence	élevée	intermédiaire	élevée	1,37	1,43	1,85	1,51	1,74
5	absence	intermédiaire	intermédiaire	intermédiaire	2,12	2,04	1,48	1,94	1,96
6	présence	élevée	faible	intermédiaire	0,4	0,38	0,37	0,36	0,49
7	présence	intermédiaire	faible	élevée	0,83	1,00	0,9	0,69	1,19
8	présence	élevée	élevée	élevée	1,57	1,68	2,04	1,98	1,9
9	présence	élevée	faible	faible	0,13	0,12	0,08	0,12	0,15
10	présence	intermédiaire	élevée	faible	0,12	0,13	0,05	0,12	0,13
11	absence	intermédiaire	élevée	élevée	7,29	7,64	7,45	8,05	6,98
12	absence	faible	élevée	intermédiaire	1,69	1,94	0,89	1,54	1,6
13	présence	faible	élevée	faible	0,08	0,11	0,03	0,07	0,1
14	présence	élevée	élevée	intermédiaire	0,53	0,52	0,45	0,63	0,59
15	absence	intermédiaire	faible	élevée	5,55	5,6	6,09	4,67	5,84
16	absence	élevée	élevée	élevée	10,5	9,41	13,75	13,33	9,37
17	absence	élevée	faible	élevée	7,99	6,89	11,25	7,73	7,84
18	absence	élevée	intermédiaire	faible	1,02	0,79	0,6	1,02	0,81
19	présence	faible	intermédiaire	intermédiaire	0,22	0,3	0,12	0,17	0,3
20	présence	faible	faible	élevée	0,58	0,81	0,49	0,42	0,88
21	absence	faible	intermédiaire	intermédiaire	1,47	1,66	0,8	1,17	1,46
22	absence	faible	intermédiaire	élevée	4,41	5,32	3,65	3,7	4,75
23	absence	faible	intermédiaire	faible	0,49	0,52	0,18	0,37	0,45
24	absence	élevée	intermédiaire	élevée	9,16	8,05	12,44	10,15	8,57
25	présence	intermédiaire	faible	faible	0,09	0,1	0,04	0,07	0,11
26	absence	faible	faible	intermédiaire	1,29	1,42	0,72	0,89	1,34
27	absence	intermédiaire	faible	faible	0,62	0,55	0,29	0,47	0,55

Source : Fall (2020)

²². Les probabilités simulées pour l'individu représentatif de sélectionner une alternative proviennent de l'équation 12. La probabilité la plus élevée correspond au scénario avec naturalité intacte, dispersion élevée, diversité élevée et absence de perturbation.

Tableau 10 : Probabilités simulées pour choisir une alternative parmi toutes les alternatives possibles (suite)

Scénarios				Probabilités					
Attributs				RPL					
Perturbation	Diversité	Dispersion	Naturalité	Échantillon globale	Photo				Automne
					OUI	NON	OUI	NON	
28	présence	intermédiaire	faible	0,15	0,14	0,09	0,15	0,16	
29	absence	faible	intermédiaire	2,67	2,15	2,47	2,45	2,41	
30	présence	faible	intermédiaire	0,19	0,25	0,11	0,13	0,27	
31	présence	intermédiaire	élevée	1,09	1,36	1,11	1,2	1,42	
32	absence	élevée	intermédiaire	3,51	2,94	3,02	4,22	2,88	
33	absence	élevée	intermédiaire	3,06	2,51	2,73	3,21	2,64	
34	présence	intermédiaire	faible	0,07	0,09	0,03	0,06	0,09	
35	présence	élevée	intermédiaire	0,25	0,35	0,13	0,23	0,32	
36	absence	intermédiaire	faible	0,81	0,75	0,36	0,81	0,66	
37	absence	faible	faible	0,43	0,44	0,16	0,28	0,41	
38	présence	faible	faible	0,06	0,08	0,02	0,04	0,08	
39	présence	élevée	intermédiaire	0,36	0,43	0,24	0,38	0,44	
40	présence	élevée	élevée	0,76	1,11	0,6	0,72	1,06	
41	absence	intermédiaire	intermédiaire	1,85	1,75	1,34	1,48	1,8	
42	présence	intermédiaire	faible	0,71	0,64	0,32	0,61	0,6	
43	présence	intermédiaire	élevée	0,95	1,17	1,00	0,91	1,3	
44	présence	intermédiaire	élevée	0,66	0,95	0,54	0,55	0,97	
45	absence	faible	faible	0,89	0,67	0,54	0,77	0,74	
46	absence	intermédiaire	élevée	6,36	6,54	6,74	6,13	6,38	
47	présence	élevée	faible	0,18	0,16	0,1	0,2	0,18	
48	présence	intermédiaire	faible	0,11	0,11	0,05	0,09	0,12	
49	présence	intermédiaire	intermédiaire	0,32	0,36	0,22	0,29	0,4	
50	absence	faible	élevée	3,85	4,55	3,3	2,82	4,35	
51	présence	élevée	intermédiaire	0,46	0,45	0,41	0,48	0,54	
52	absence	élevée	faible	1,17	0,92	0,66	1,34	0,89	
53	présence	intermédiaire	intermédiaire	0,28	0,31	0,2	0,22	0,37	
54	absence	intermédiaire	intermédiaire	2,43	2,39	1,63	2,55	2,15	

Source : Fall (2020)

4.1. CORRESPONDANCE ENTRE LES INFORMATIONS SIG ET LES NIVEAUX DES ATTRIBUTS

Dans la deuxième étape, nous employons les données SIG du Résultat du 5e inventaire et de la cartographie écoforestière du Québec²³. Ces données renseignent les informations géospatiales dans chaque surface d'environ 1 ha de la province du Québec. Chaque surface correspond un ensemble de couvertures de terre (en forme de polygone²⁴) pouvant être des forêts (résineux, mixtes et feuillus), des éléments modifiés par l'homme (milieux urbains, routes, campings, lignes électriques, etc.), les zones agricoles, les milieux inondables, les graviers, les îles, etc.

La figure 8 illustre la transformation en trois étapes des données SIG du Résultat du 5e inventaire et de la cartographie écoforestière du Québec au calcul des niveau des attributs dans une unité de paysage forestier de 1Km*1Km. La figure 8A illustre les images satellites des couvertures de terres en forme de polygone dans le site d'étude. Ensuite, dans la figure 8B, nous identifions les informations spatiales et les formes de ces couvertures de terre (types et surfaces de couvertures). Finalement dans la dernière étape, nous superposons un ensemble de grilles de 1Km x 1Km représentant les unités de paysage forestier sur les données SIG. Puis, à l'intérieur de chaque unité de paysage, nous mesurons la valeur de chaque attribut du paysage selon la disposition, le type et la quantité des couvertures de terre (figure 10C).

Les niveaux des attributs spatiaux sont calculés sur ArcGIS (2018). Plus précisément, nous utilisons un outil basé « python » dans « ArcGIS » et développé par Adamczyk et Tiede (2017) (appelé "zonal metrics toolbox"). Cet outil permet de calculer les niveaux des attributs à l'intérieur de chaque unité du paysage forestier²⁵.

²³ <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/resultats-d-inventaire-et-carte-ecoforestiere>

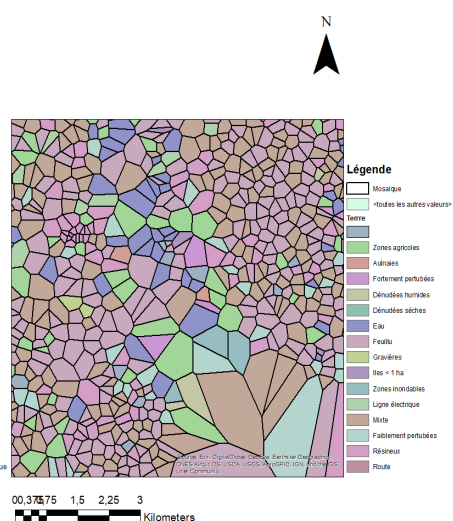
²⁴ Un polygone est une forme fermée définie par une séquence connectée de paires de coordonnées x, y.

²⁵ <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=96c3ffc7439f4972a08f4edbc51d89be>

10A : Couvertures de terre en forme de polygone (image satellite)



10B : Couvertures de terre en forme polygone (représentation graphique)



10C : Superposition des grilles de 1Km*1Km sur les couvertures de terres

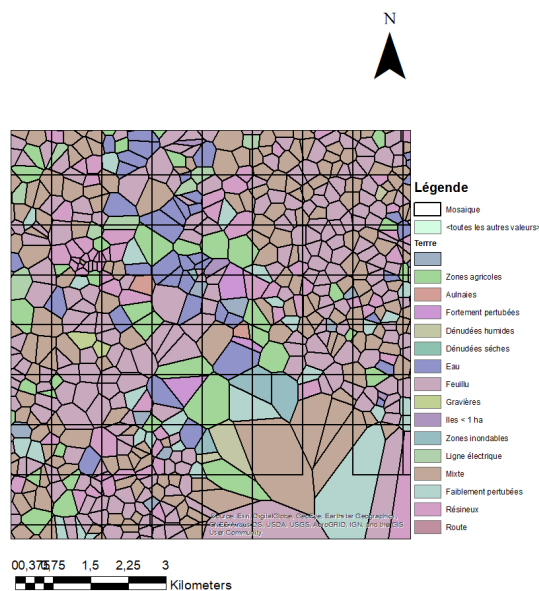


Figure 8 : Processus d'association entre les données géospatiales et les unités de paysage²⁶

Notes : Données issues Résultat du 5e inventaire compilées et traitées par l'auteur sur ArcGis.

Source : Fall (2020)

²⁶ Les grilles de 1Km x 1Km correspondent aux unités de paysage forestier.

La naturalité est représentée spatialement par le pourcentage de couverture forestière et directement calculée sur ArcGIS dans chaque unité du paysage.

La dispersion est définie comme la configuration spatiale des couvertures de terre dans chaque unité du paysage. Ode *et al.* (2008) recommandent d'utiliser un indicateur métrique appelé densité des bords ou « edge density » (ED). Pour chaque unité de paysage, son ED est défini selon l'équation 21 :

$$ED^{27} = \frac{E}{A} * 1000000 \quad \text{Éq. 21}$$

Avec E le total des longueurs de contours de polygones dans chaque grille ou unité de paysage ; A représente le total de l'aire en mètre carré (m^2) correspondant à la surface de chaque grille. ED correspond à la densité des contours en mètre (m) par km^2 . $ED \geq 0$ c.-à-d. pour une même superficie, plus il y a des contours dans une grille, plus de dispersion sera forte.

L'attribut perturbation est approximé par les éléments incohérents ou perturbateurs gênant la vision du paysage. Nous définissons ici la perturbation comme la présence d'éléments encombrants dans chaque unité de paysage tels que les fils électriques, les routes et les installations humaines dans la forêt (ex. camping.)

La diversité des couvertures est calculée à l'aide de l'index de Shannon (SHDI) (Palmer, 2004). Cet index est une mesure écologique basée sur la rareté relative d'une couverture dans chaque entité du paysage. SHDI se calcule de la manière suivante :

²⁷ ED étant exprimé en m^2 , nous le multiplions par 1000000 pour le convertir en Km^2 .

$$SHDI^{28} = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln(p_i)) \quad \text{Éq. 22}$$

p_i est égale à la proportion de surface occupée par la couverture de terre i par rapport à la surface totale de l'unité du paysage avec $SHDI \geq 0$. $SHDI = 0$ signifie que l'unité de paysage contient une seule couverture de terre (faible diversité). Si $SHDI$ est élevé, cela correspond à une plus grande abondance relative de couvertures de terre dans chaque unité de paysage. Le nombre de couvertures de terre est sensiblement égal à e^{SHDI} .

Le tableau 11 résume les statistiques descriptives des attributs spatiaux à travers les unités de paysages de notre étude. L'étude de la médiane nous renseigne que plus de 50% des unités de paysage ont des couvertures forestières de 90.52%. Pour l'indice de Shannon, la médiane est de 1.06 ce qui correspond environ à 3 couvertures de terre par unité de paysage. Concernant, le nombre d'éléments perturbateurs, elle est extrêmement faible dans la région. Les éléments perturbateurs occupent seulement 2% de la surface totale d'unité du paysage.

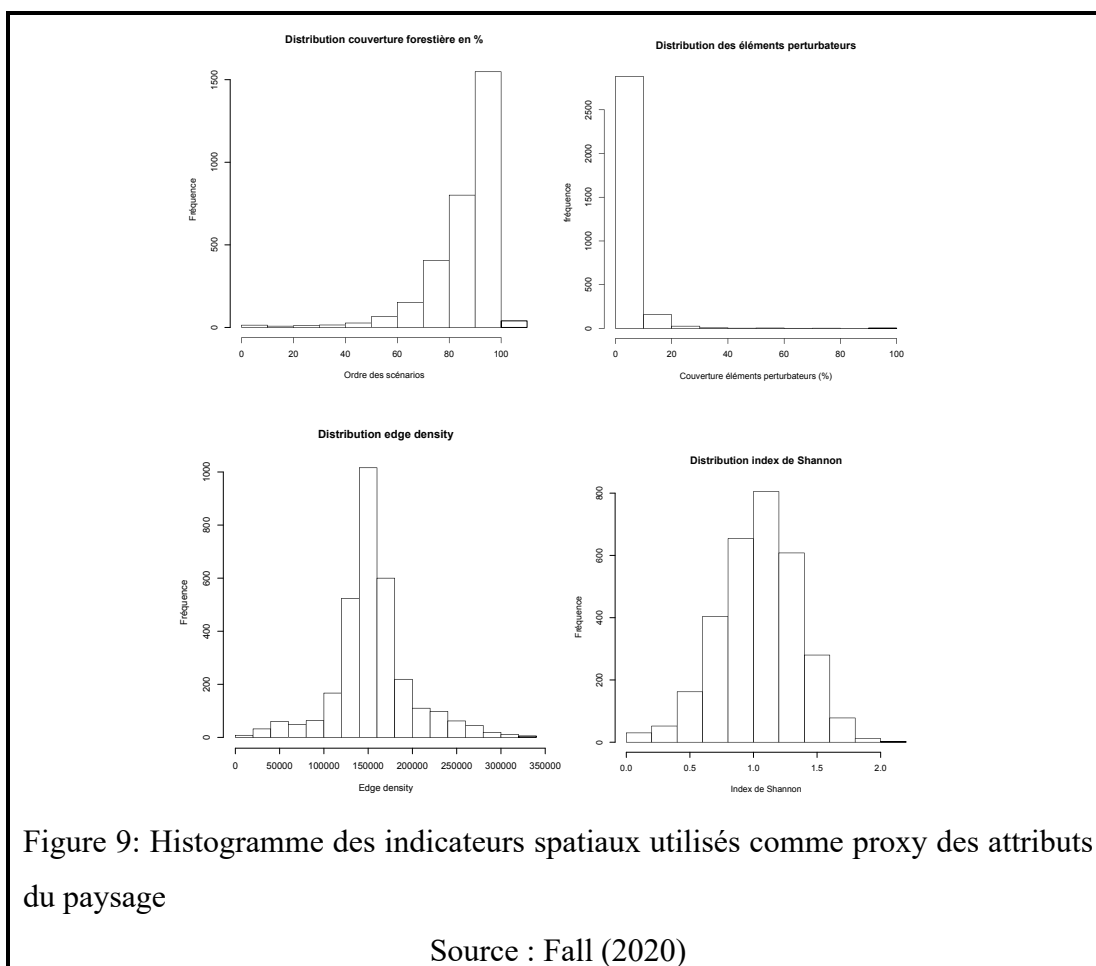
Tableau 11: Statistiques descriptives moyennes par unité de paysage

	Minimum	Quartile 1	Médiane	Moyenne	Quartile 3	Maximum
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Index de Shannon	0,00	0,84	1,06	1,04	1,26	2,09
Edge density	0,00	136764	153144	155433	171598	338973
Éléments encombrants (en %)	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	95,00
Couverture forestière (en %)	0,00	81,08	90,52	87,01	97,66	100,00

Source : Fall (2020)

²⁸ Si $p_i = 1$, i.e. une seule couverture de terre dans une unité de paysage, dans ce cas, $\ln(p_i) = 0 \Rightarrow SHDI = 0$. Si $p_i \rightarrow \infty$, i.e. abondance infinie de couvertures de terre, $\ln(p_i) \rightarrow \infty$ et $p_i \rightarrow \infty \Rightarrow SHDI \rightarrow \infty$. $SHDI \in [0, \infty[$.

Nous illustrons dans la figure 9 la distribution des niveaux des 4 indicateurs spatiaux qui seront utilisés comme proxy des 4 attributs du paysage. À cause de la présence de perturbation, la distribution de la perturbation est asymétrique vers la gauche. La moyenne de la surface des éléments encombrants est faible et tend vers 0. Concernant le SHDI et l'ED, nous trouvons que la distribution est asymétrique. La distribution est vers la droite pour la couverture forestière c.-à-d. la majorité des unités de paysage ont à 60% de leurs couvertures de terre occupées par la forêt.



La prochaine étape consiste à construire la correspondance entre les indicateurs spatiaux et les niveaux des attributs. Étant donné que notre méthodologie se base sur la comparaison pour qu'une unité de paysage soit visitée, les niveaux des attributs doivent

être ajustés selon la situation de zone d'étude (la région forestière de Charlevoix). La correspondance entre les niveaux des indicateurs spatiaux et les niveaux des attributs dans les choix expérimentaux est présentée dans le tableau 12.

Tableau 12: Correspondance entre le niveau des attributs et les indicateurs spatiaux

	Faible		Intermédiaire		Élevée	
	Indicateurs spatiaux	Code CE ²⁹	Indicateurs spatiaux	Code DCE	Indicateurs spatiaux	Code CE
Diversité	<0,84	1	[0.84 1.26]	2	>1.26	3
Dispersion	<136764	1	[136764 171598]	2	>171598	3
Perturbation	<2%	0			>2%	1
Naturalité	<81,08%	1	[81,08% 97,66%]	2	>97,66%	3

Source : Fall (2020)

Pour les attributs naturalité, dispersion et diversité, le niveau faible est associé à l'indicateur géospatial inférieur au quartile 1, l'intervalle entre les quartiles 1 et 3 correspond au niveau intermédiaire et enfin le niveau élevé est équivalent au niveau des indicateurs supérieurs au quartile 3. La perturbation est une variable discrète égale à 1 si la surface les éléments encombrants la vision paysage est supérieure à 2% de la surface totale de chaque unité du paysage.

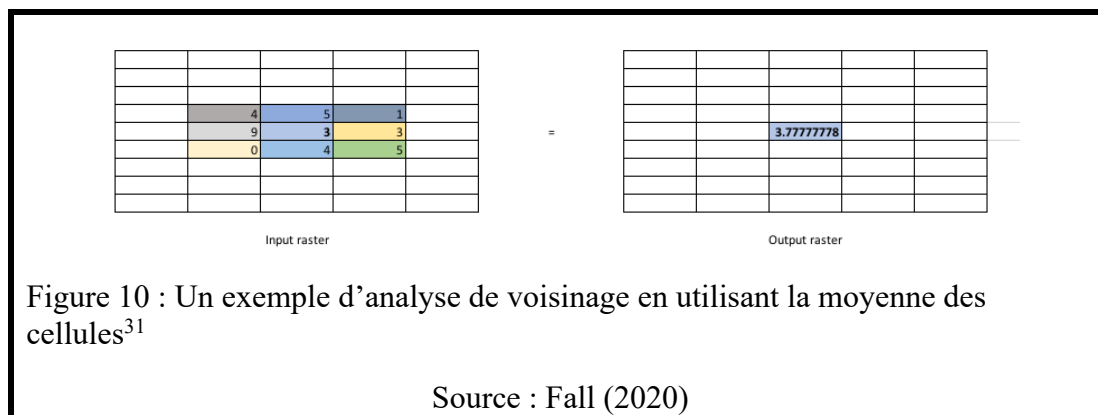
4.2. DÉTERMINATION DU NIVEAU DES ATTRIBUTS POUR CHAQUE UNITÉ DU PAYSAGE

Pour associer le niveau des attributs du paysage à chaque unité de paysage à visiter, nous utilisons une analyse focale³⁰ (van Zanten *et al.*, 2016a) pour contrôler le

²⁹ CE représente les choix expérimentaux. Les indicateurs spatiaux correspondent au SHDI, ED, perturbation et la couverture forestière

³⁰ L'analyse de voisinage ou focale est un outil spatial disponible dans ArcGis

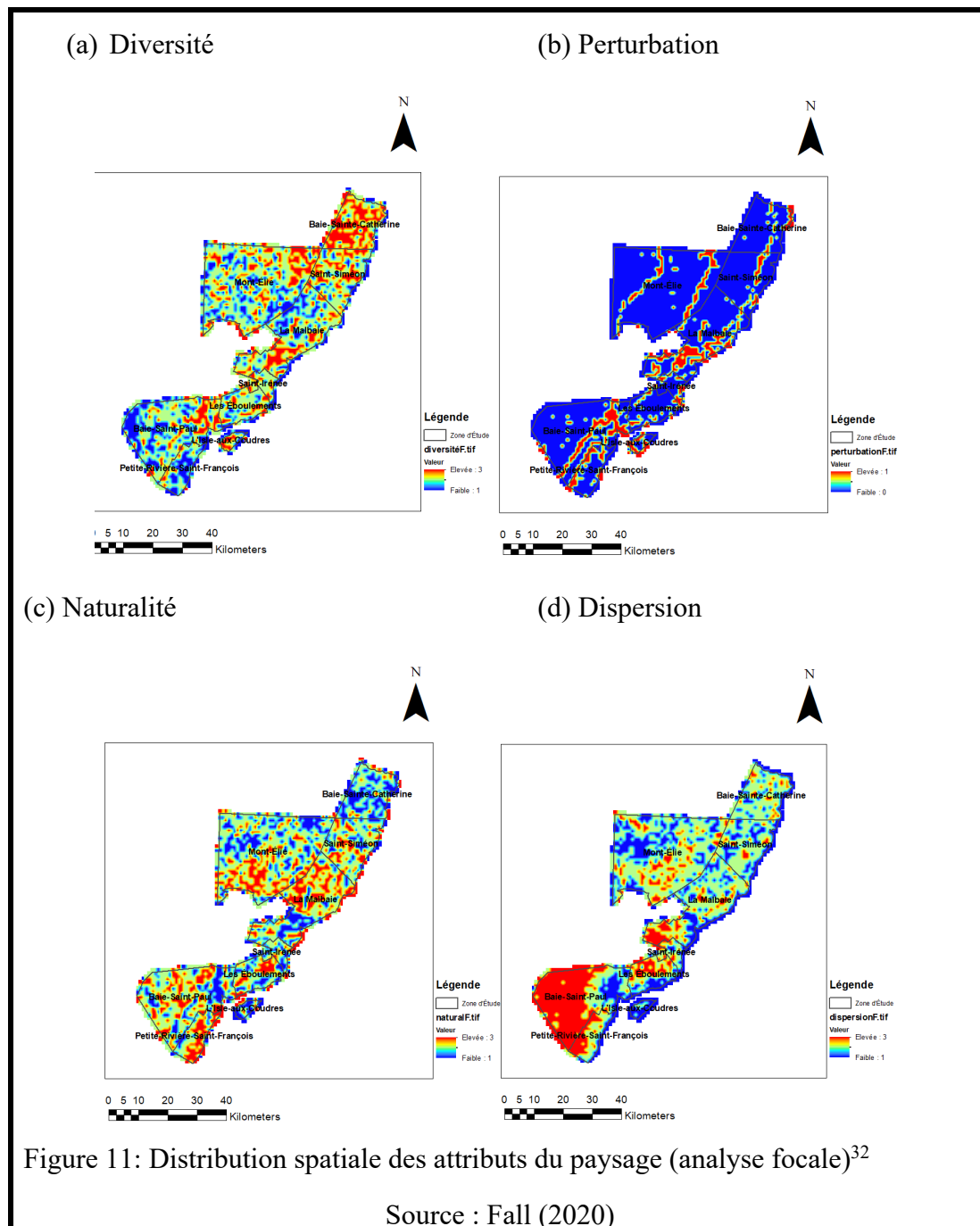
comportement spatial. Plus précisément, nous supposons que la valeur de chaque unité de paysage dépend du niveau des caractéristiques spatiales des unités voisines permettant de saisir la qualité du paysage. Concrètement, l'analyse focale attribue une valeur moyenne à chaque unité du paysage correspondant à la valeur moyenne des indicateurs spatiaux des unités du paysage voisines (Figure 10). L'analyse focale capte la possibilité que l'individu observe à 360 degrés autour de lui-même. Cette approche capture le paysage visible et vécu par un individu à partir de son point focal. Donc pour un individu, la probabilité de choisir une unité du paysage dépend des attributs des unités de paysage voisines.



Basée sur cette logique d'analyse focale, nous calculons et présentons dans la figure 11 la distribution spatiale de chaque attribut du paysage. Nous notons que la diversité du paysage est élevée dans la municipalité de Baie-Sainte-Catherine, au sud de La Malbaie, dans la municipalité de Saint-Siméon, présentée par la couleur rouge. La diversité est faible à l'Est de la municipalité de Baie-Saint-Paul par rapport aux autres régions, présentées en bleu. La plupart des éléments perturbants se situent autour de villes comme La Malbaie, Baie-Saint-Paul, sur le territoire du Mont-Élie et à l'Ouest de Charlevoix à cause des fils électriques et des routes. La dispersion est très élevée à l'Est de Baie-Saint-Paul et dans la zone du centre d'étude. La dispersion est de niveau intermédiaire à faible dans les autres municipalités. Enfin, la naturalité est de niveau élevé ou intermédiaire dans la majeure partie de la zone d'étude. Cela peut s'expliquer

³¹ Note : La valeur de chaque unité du paysage correspond à la moyenne des valeurs des unités voisines.

par le fait que le territoire est densément boisé. La naturalité est relativement moindre dans les villes et dans la municipalité de Sainte-Catherine.



³² Les valeurs élevées des niveaux des attributs sont présentées en rouge alors que les valeurs faibles sont en bleu

4.3. REPRÉSENTATION SPATIALE DES 54 POSSIBLES SCÉNARIOS

Sur la base des niveaux des attributs déterminés via l'analyse « analyse focale », la dernière étape nécessite de faire la correspondance entre les 3087 unités du paysage avec chacun des 54 scénarios. Une fois que la correspondance effectuée, nous pouvons associer les probabilités rapportées dans le tableau 10 pour les 54 scénarios pour toutes les unités du paysage pour les présenter dans la carte.

Pour présenter les résultats de la cartographie de la probabilité qu'une unité de paysage soit visitée, nous adaptons l'analyse de point chaud d'ArcGis³³, appelée aussi la statistique *Getis-Ord (G_i^*)*³⁴ de Ord et Getis (1995) pour déterminer les unités de paysage les plus préférées. Cette méthode utilise les statistiques (les z-scores et les p-values³⁵) pour identifier la significativité des unités de paysage avec une probabilité élevée d'être visitée dépendant des valeurs de probabilité des unités voisines. Plus spécifiquement, nous définissons une unité de paysage à valeurs élevées si et seulement si les valeurs des unités voisines sont élevées aussi.

La figure 12 montre les résultats de la cartographie de la valeur de l'esthétique du paysage en fonction de la valeur de probabilité présentée dans le tableau 10. Les zones rouges représentent les unités les plus préférées par les répondants, tandis que les zones bleues sont les moins préférées. Les zones les plus privilégiées sont situées au Sud de Mont-Élie, à l'Est de la municipalité de Baie-Saint-Paul, au centre de la municipalité de Saint-Siméon, au Sud de la municipalité de Petite-Rivière-Saint-

³³ <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm>

³⁴ Plus précisément, le G_i^* calcule les statistiques z-scores pour chaque unité de paysage i . Pour les z-scores statistiquement positifs, une valeur élevée du z-score correspond à une agrégation de valeurs élevées (points chauds). Par contre, un z-score faible est une agrégation de valeurs (points froids).

³⁵ Le z-score et p-value permettent de rejeter ou non l'hypothèse nulle selon laquelle le processus spatial ou la valeur associée aux unités de paysage sont totalement aléatoires. Si l'hypothèse nulle rejetée, l'agrégation des valeurs associées aux entités i sont statistiquement significatives et non aléatoires. Les p-values sont des probabilités alors que les z-scores représentent des écarts-types.

François, au Centre-Ouest de La Malbaie et à l'Ouest de la municipalité des Éboulements.

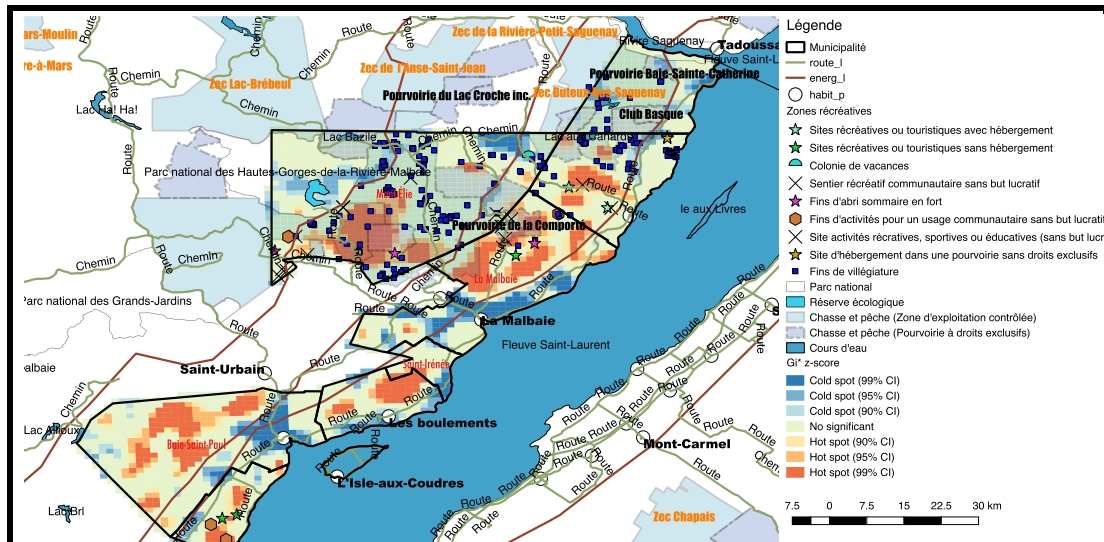


Figure 12: Valeur de l'esthétique du paysage : site d'étude

Notes : Les résultats de la cartographie basés sur les données de probabilité de visite proviennent du tableau 10. Les zones rouges sont significativement les plus préférées. Les zones bleues sont les moins préférées.

Source : Fall (2020)

Les zones les moins préférées sont les zones traversées par des perturbations visuelles comme les lignes électriques, les routes³⁶. Nos résultats sont similaires avec les articles de Tempesta *et al.* (2014) qui trouvent, dans une enquête de choix expérimentaux, les fils électriques réduisent l'esthétique du paysage dans les zones rurales en Italie. De plus, Li et Lin (2019) montrent que les lignes à hautes tensions détériorent la qualité visuelle des paysage forestiers entre 20% et 44% pour les répondants au Sud-Est de la Chine. Les sites d'activités récréatives et touristiques se trouvent en général à côté des zones à qualité visuelle élevée si ces sites ne sont pas proches de routes ou de ligne électriques. Certaines municipalités comme la Baie-

³⁶ Dans notre étude, nous nous intéressons aux zones faiblement perturbées par l'homme et les zones naturelles. Par conséquent, les zones urbaines sont exclues de notre analyse.

Sainte-Catherine ne contiennent pas d'unités de paysage à valeurs élevées dans notre analyse.

4.4. COMPARAISON DE LA VALEUR DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE AVEC LES POLITIQUES FORESTIÈRES ACTUELLES

Dans cette section, nous allons nous discuter de la correspondance entre les résultats de la cartographie de la valeur de l'esthétique du paysage et l'unité d'aménagement forestière de Charlevoix-Est. Cartographier cette unité pourrait aider les planificateurs forestiers à identifier les unités de paysage à qualité visuelle élevée. Le chevauchement de la valeur des unités du paysage avec l'unité d'aménagement forestière dans la figure 13 montrent que les zones préférées en termes de valeur du paysage sont localisées à l'Est de l'unité de management forestier, plus précisément à la frontière des zones urbaines de Saint-Siméon et de La Malbaie. Une autre série de zones de paysage préférées se situent au sud-ouest proche du Parc National des Hautes-Gorges-de-la-Rivière-Malbaie. Nos résultats montrent que certains des zones à qualité visuelle élevée sont, comme nous l'espérons, proche des sites touristiques et récréatifs. La figure 13 révèle aussi les risques relative urbanisation future pour la préservation des paysages forestier puisque plusieurs zones préférées comme celles proche de la municipalité de Saint-Siméon ou de la Pourvoirie de la Comporté sont menacées pour l'urbanisation ou par les routes.

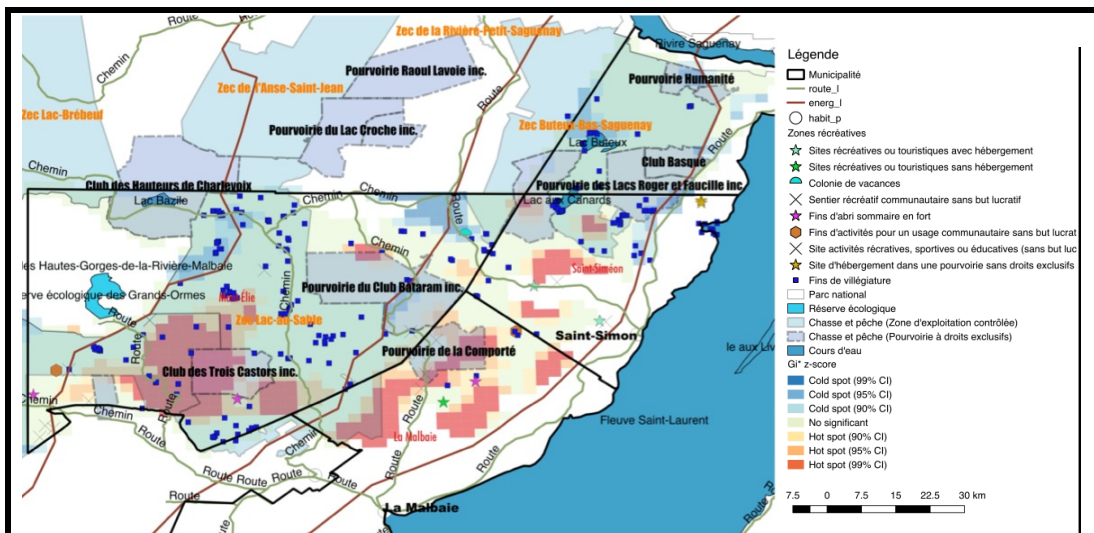


Figure 13: Valeur de l'esthétique du paysage : unité d'aménagement forestier

Notes : Les résultats de la cartographie basés sur les données de probabilité de visite proviennent du tableau 10. Les zones rouges sont significativement les plus préférées. Les zones bleues sont les moins préférées.

Source : Fall (2020)

Nous pouvons aussi évaluer l'interaction spatiale entre les politiques sylvicoles et les zones préférées par les répondants. Les instruments des politiques sylvicoles interagissent avec l'esthétique du paysage forestier à travers les coupes forestières, et la protection des forêts rares (exemple les réserves écologiques et des zones touristiques). La figure 14 montre la relation spatiale entre les unités de paysage, les coupes forestières et les zones protégées. Nous constatons que certains refuges écologiques font partir des zones préférées des répondants en particulier à l'ouest du Zec des Martres ainsi qu'au centre de la Municipalité de Saint-Siméon. Ces zones sont protégées de toute intervention sylvicole pour sauvegarder les espèces présentes.

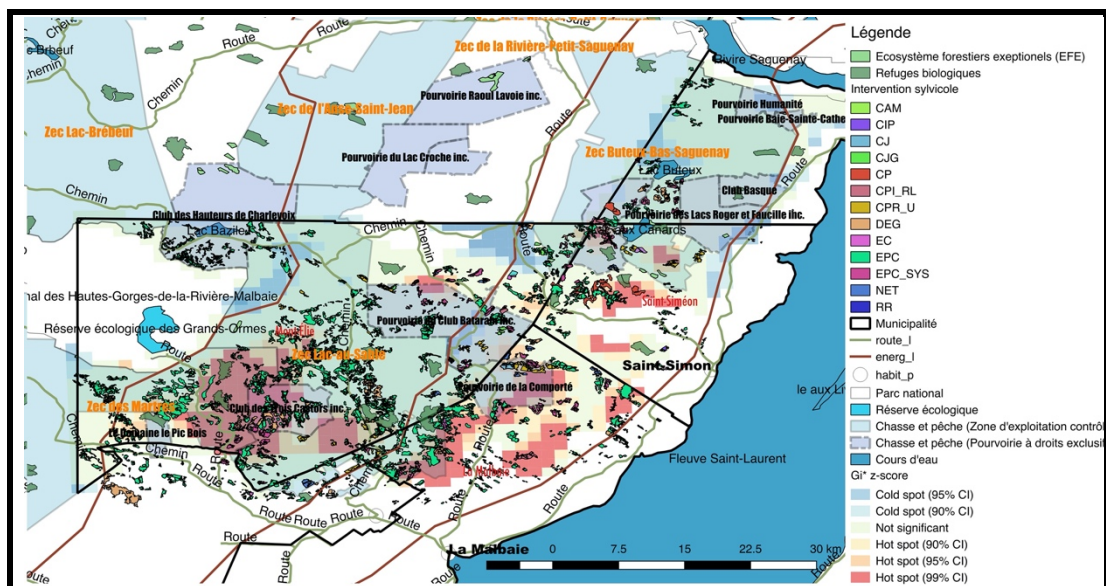


Figure 14: Relation spatiale entre la valeur de l'esthétique du paysage et les politiques d'intervention sylvicoles³⁷.

Notes : Données SIG du Québec. Carte réalisée par l'auteur dans ArcGis

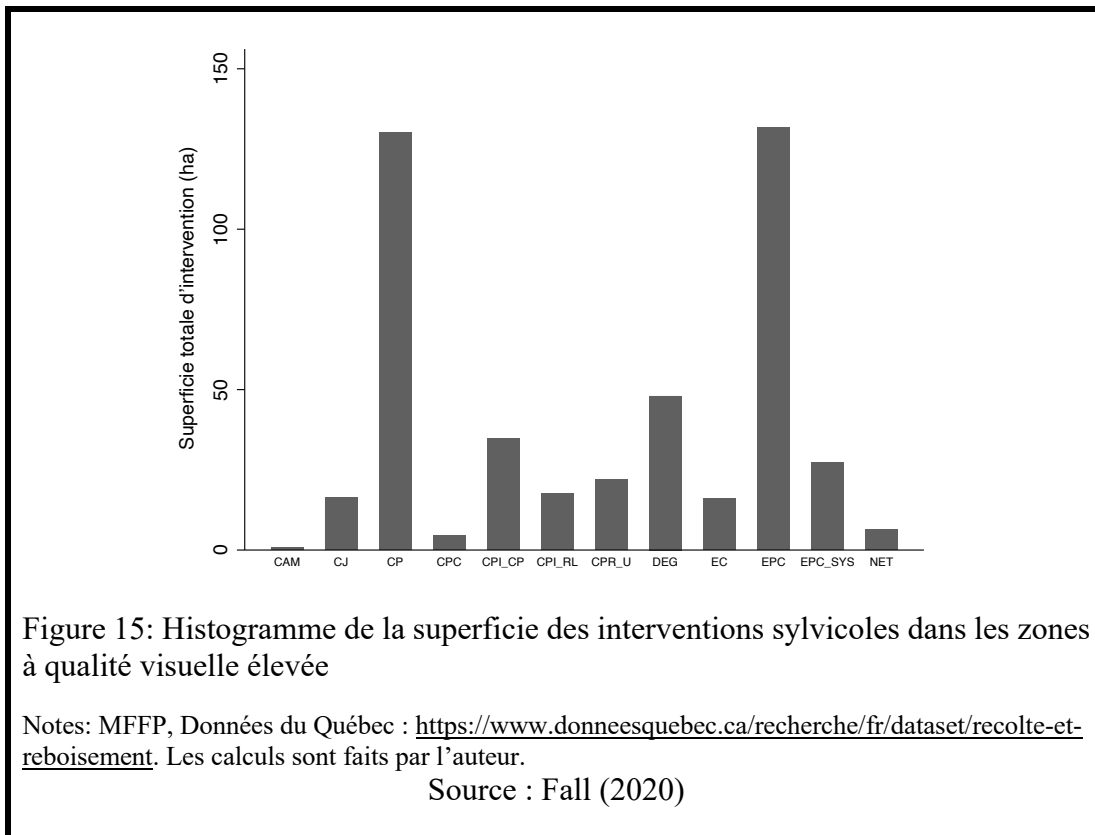
Source : Fall (2020)

La figure 14 nous renseigne aussi qu'il existe des interventions sylvicoles pratiquées dans les unités de paysage à valeurs élevées. Ainsi, l'intérêt de ce graphique serait de vérifier si les coupes forestières pratiquées dans ces zones sont conformes à la protection du paysage. En effet, les coupes forestières pourraient affecter négativement l'esthétique du paysage pour l'individu surtout les coupes totales³⁸ (Nappi, 2013). En particulier, (Pâquet et Bélanger, 1997) montrent qu'idéalement, le taux de prélèvement devrait être contrôlé à moins de 25% pour limiter l'impact négatif

³⁷ Note : CPRS=Coupe avec protection de la régénération et des sols ; CPHRS= coupe avec protection de la haute régénération et des sols ; CAM=coupe d'amélioration CIP=coupe partielle photo intégrée ; CJ=coupe de jardinage ; CJP=coupe de jardinage par pied d'arbre ; CP=coupe partielle ; CPC=coupe progressive d'ensemencement (résineux) ; CPI_CP=coupe progressive irrégulière à couvert permanente ; CPI_RL=coupe progressive irrégulière à régénération lente ; CPM=coupe progressive d'ensemencement (mélangé) ; CPR_U=coupe progressive régulière et uniforme ; DEG=dégagement de la régénération naturelle ou de plantation ; EC éclaircie commerciale ; EPC=éclairci pré commercial ; RR=regarni de régénération. Au début des années 1990, la codification relative à la coupe partielle CP est subdivisée en CPI (coupe progressive irrégulière), CJ (Coupe de jardinage).

³⁸ https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2013/01/231-237_MDPF_QualiteVisuelle.pdf

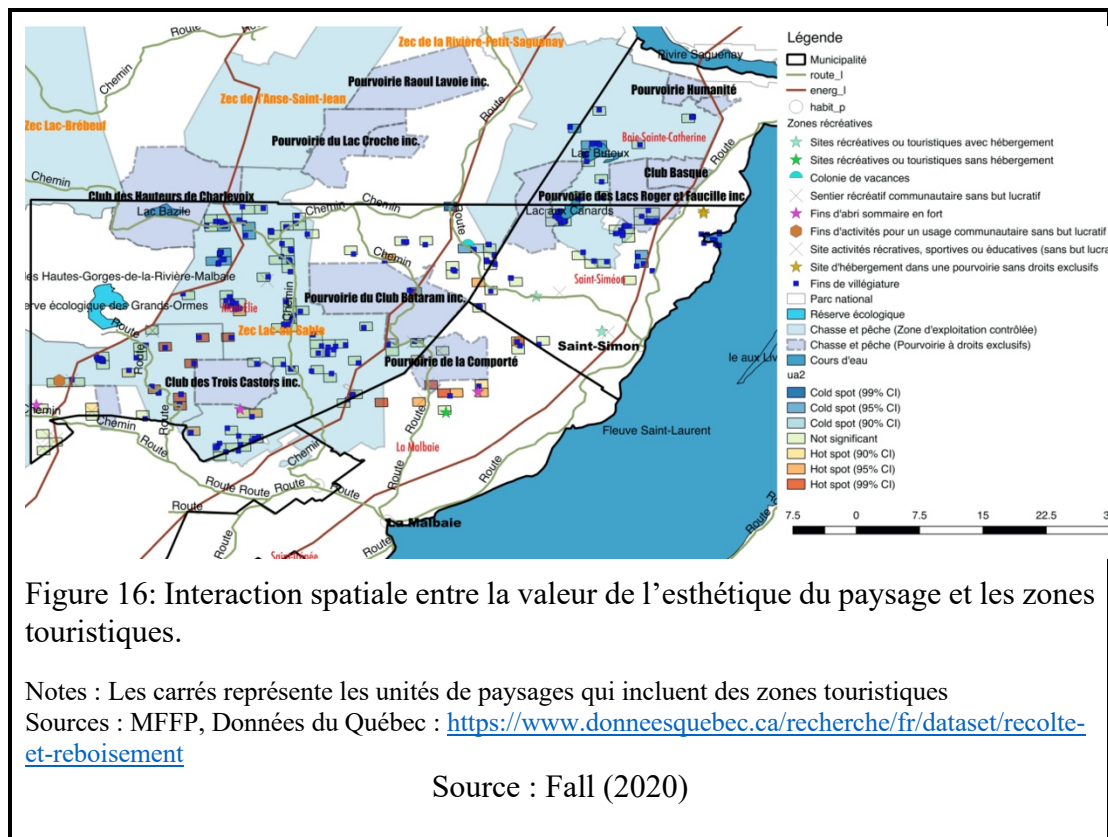
de la coupe forestière pour l'individu. Certaines coupes partielles (taux de prélèvement moins de 50% de la surface terrière du peuplement³⁹) permettent de récolter, améliorer et régénérer les peuplements et permettre à lumière d'accéder au sol, éliminer les obstructions visuelles. Ces types de coupes pourraient améliorer la diversité des espèces et par conséquent l'esthétique du paysage (Pâquet et Bélanger, 1998)



La figure 15 illustre les superficies totales des interventions de chaque type de traitements sylvicoles dans les zones à qualité à visuelle élevée par les répondants. Les coupes partielles (CP), les éclaircies précommerciales (EPC), les dégagements de la régénération naturelle (DEG) et les coupes progressives irrégulières (CPI) sont les plus

39 Sources : <https://mffp.gouv.qc.ca/forets/consultation/cartes/Gaspesie-IdM/a-propos/travaux-forestiers-definitions.pdf>

utilisés dans ces zones. Selon le MFFP⁴⁰, les CPI et les coupes de jardinages (CJ) consistent à protéger les vieilles forêts et les essences spécifiques et à améliorer le cadre visuel. Ces interventions se résument à faire des prélèvements de moins de 30% d'une zone forestière. Elles sont donc visuellement acceptables pour les individus selon l'article de Pâquet et Bélanger (1997). Ces types de traitements sylvicoles sont alors compatibles avec la préservation des unités de paysage à valeurs élevées.



La figure 16 montre l'interaction spatiale entre les zones récréatives et les unités de paysage à qualité visuelle élevée. Les zones récréatives sont importantes pour le planificateur forestier puisqu'elles sont exclues de l'aménagement forestier. La figure 16

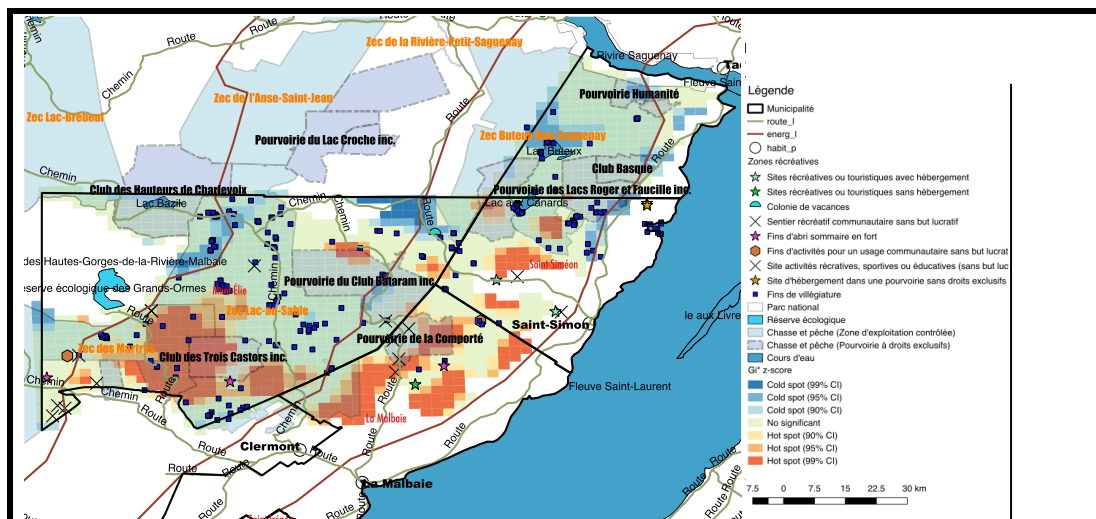
⁴⁰ Sources : plan d'aménagement forestier intégré tactique UA 033 51, <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/consultation/capitale-nationale/unite-amenagement-033-51.pdf>

montre que 15%⁴¹ des zones touristiques dans l'unité d'aménagement de Charlevoix-Est sont à l'intérieur de zones à qualité visuelle élevée. Ces zones touristiques à qualité visuelle élevée se trouvent au Sud de la Pourvoirie de Comporté dans la municipalité de la Malbaie. Il s'agit principalement de colonies de vacances, des sites d'hébergement et des sites récréatives et touristiques sans hébergement. Les autres zones touristiques à qualité visuelle élevée se trouvent au Mont-Élie, plus précisément dans le Sud-Ouest du Zec au Sable et à l'Ouest du Club des Trois Castors. Il s'agit surtout des sites à des fins de villégiature. La faible interaction spatiale entre les zones à qualité visuelle et les sites récréatives et touristiques est cohérente avec l'article de Casado-Arzuaga *et al.* (2013) montrant une interaction spatiale à 7,2%.

Ce résultat est très important dans l'intégration de l'esthétique du paysage pour les politiques de planification forestière dans la mesure où l'identification des zones visuelles ne devrait pas se faire uniquement sur la base des zones touristiques, car la corrélation entre les unités de paysage à valeurs élevées et les zones touristiques pourrait être faible. Il y a deux types d'enjeux sur l'identification des zones touristiques et des zones préférées par les répondants. Le premier enjeu correspond au développement ou l'aménagement des infrastructures touristiques et les types d'activités touristiques pratiqués dans les zones à qualité visuelle élevée. Il y a un réel arbitrage entre le développement du tourisme et la préservation du paysage. Notre étude permet alors de délimiter les zones préférées en interaction avec les infrastructures touristiques donnant un outil visuel aux planificateurs et aux décideurs. Le deuxième enjeu est d'ordre dynamique. En effet, le développement ou la création future d'infrastructures touristiques ou récréatives peuvent dégrader les zones à qualité visuelle élevée. Notre cartographie pourrait aider les planificateurs à anticiper les futures tensions qui pourraient avoir dans ces régions et prévoir un aménagement compatible avec la préservation de l'esthétique du paysage.

⁴¹ Ce chiffre correspond à la fraction entre le nombre de zones touristiques en interception avec les zones à qualité visuelle élevée et le nombre total de zones touristiques.

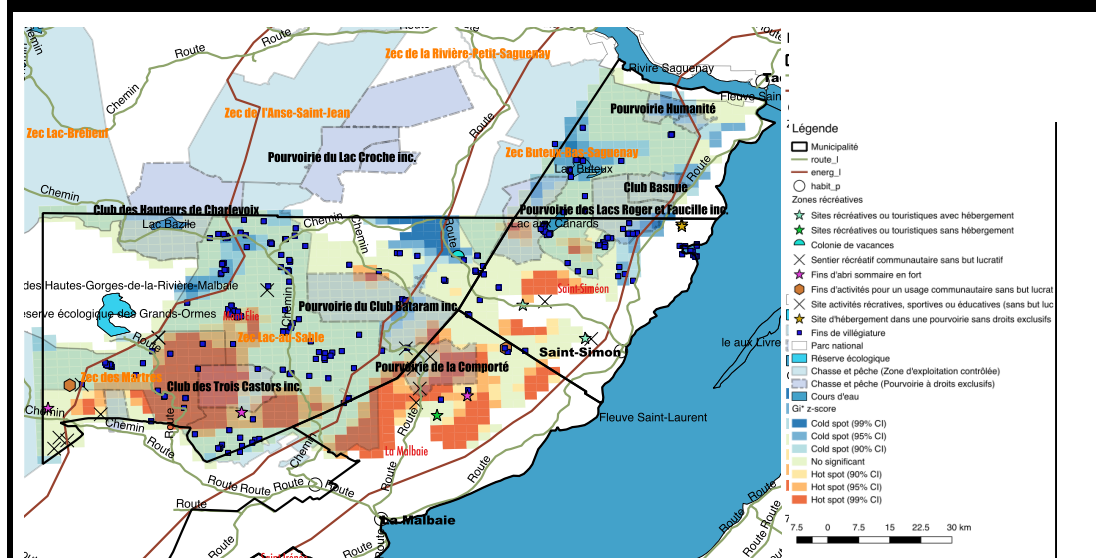
4.5. ANALYSE DE SENSIBILITÉ



A : Valeur de l'esthétique du paysage : sans photo

Notes : Les valeurs de l'esthétique du paysage sont calculées que pour le sous-échantillon sans photo pour illustrer les ensembles de choix.

Source : Fall (2020)



B : Valeur de l'esthétique du paysage : avec photo

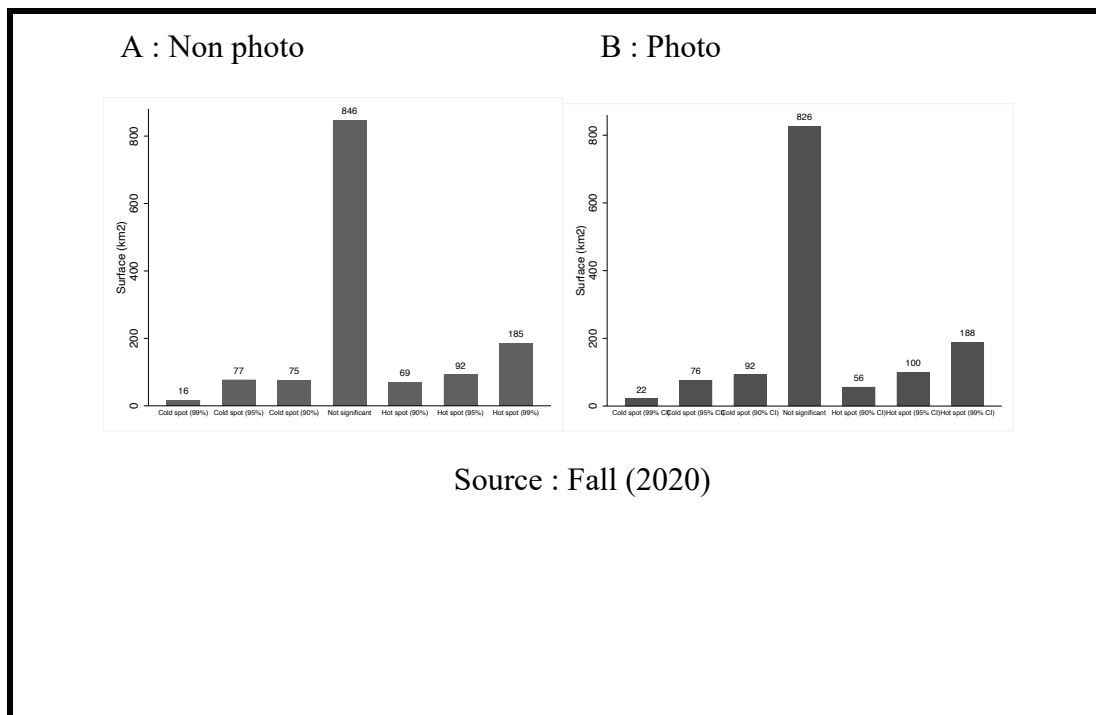
Figure 17 : Test de robustesse avec ou sans photo

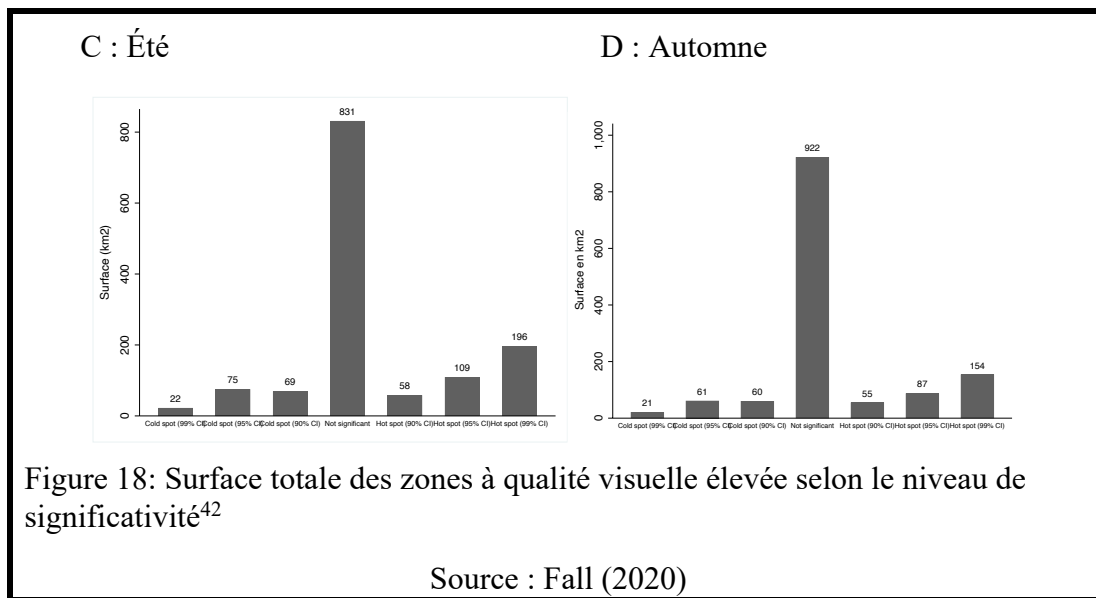
Notes : Les valeurs de l'esthétique du paysage sont calculées que pour le sous-échantillons sans photo pour illustrer les ensembles de choix.

Source : Fall (2020)

Pour vérifier la sensibilité de nos résultats par rapport à l'absence ou la présence de photo de référence et la saison durant laquelle la photo a été prise, nous allons comparer les résultats obtenus entre un traitement avec ou celui sans photo et entre un traitement avec photo d'automne et celui avec photo d'été.

La figure 17 montre les résultats des sans photo (A) et avec photo (B). Visuellement les deux figures sont presque identiques. La seule différence significative dans la localisation des unités de paysage à qualité visuelle élevée se trouve au niveau Nord-Est du Zec des Martres où la photo augmente la significativité des points chauds. Plus précisément, la photo améliore statistiquement la préférence des unités de paysage qui étaient modérément préférées par les répondants. Des auteurs comme Shr *et al.* (2019) trouvent aussi que les images augmentent la préférence des individus et encouragent l'individu à considérer tous les attributs dans son analyse.





La figure 18 présente la surface totale d'unités de paysage à qualité visuelle significativement élevée (avec $p\text{-value} < 0,1$). Plus précisément, la figure 18, panel A illustre la surface totale des unités de paysage pour le modèle sans photo et la figure 18, panel B pour le modèle avec photo. La figure 18 montre que les unités de paysage significativement à valeurs élevées sont passées de 344 km² (25,44% du site) pour le modèle sans photo à 346 km² (25,29% du site) pour les questionnaires avec photo. La différence se situe sur la significativité des unités à valeurs élevées. Ces unités significatives à 5% ou 1% passent de 277 km² pour le modèle sans photo à 288 km² pour les questionnaires avec image (Shr *et al.*, 2019).

La figure 18 nous renseigne de la surface d'unités de paysage à valeurs élevées pour le modèle avec photo en été (panel C) et le modèle avec photo en automne (panel D). La figure 18 montre que le nombre de unités de paysage à valeurs élevées diminue dans le cas où la photo est prise en automne. Junge *et al.* (2015) trouvent un effet des photos prises durant différentes saisons sur les préférences des répondants. En particulier, les différences de préférences entre les modèles de photo en automne et en

⁴² Note : les points chauds sont les zones sont significativement à valeurs élevées c.-à-d. dont l'intervalle de confiance est supérieur à 90%.

été se concentrent sur les attributs de la naturalité et de la diversité. Les unités de paysage à valeurs élevées sont passées de 363 km² (26.69% du site d'étude) pour les photos en été à 296 km² (21,76 % du site d'étude) pour les photos en automne. En effet, les individus qui reçoivent les photos en automne pourraient avoir tendance à se focaliser que sur les attributs de la diversité et de la naturalité. Ainsi, les combinaisons dans lesquelles la diversité et de la naturalité sont élevées deviennent plus rares. Par conséquent, les unités à valeurs élevées sont plus restrictives lorsque la photo est prise en automne.

En résumé, nous montrons que la photo permet d'améliorer la significativité des unités de paysage à valeurs élevées. En particulier, lorsque nous évaluons les traitements entre les photos en été et les photos en automne sur la cartographie de l'esthétique du paysage, nous constatons une différence du nombre de zones préférées est légèrement moindre dans le cas d'une photo prise en automne. En effet, les images en automne orientent l'individu à considérer les attributs de la diversité et de la naturalité. Par conséquent, les autres scénarios où la naturalité et la dispersion sont moins importantes pourraient être peu considérés par le répondant.

5. CONCLUSION

L'évaluation de l'esthétique du paysage est un enjeu important pour le développement local. En effet, dans un contexte de transition vers une économie plus verte, les pays se tournent vers une économie moins dépendante de la récolte de bois. L'intégration de l'esthétique du paysage dans les stratégies de planification forestière est un outil intéressant pour protéger les zones à fortes valeurs visuelles. Nous avons administré un questionnaire de choix expérimentaux à 998 individus de plus de 18 ans au Québec. Nos résultats montrent que certains attributs comme la naturalité ou l'absence de perturbation sont les mieux valorisés par le répondant. En combinant les données de choix expérimentaux et les données de système d'information géographique (SIG), nous avons identifié les unités de paysage à valeurs élevées dans

la région de Charlevoix, plus précisément dans une unité d'aménagement forestier. Ensuite, nous avons étudié l'interaction entre les unités de paysage et les interventions sylvicoles. Nos résultats montrent qu'il y a très peu de coupes commerciales dans les unités de paysage et la corrélation entre ces zones à valeurs élevées et les sites touristiques est faible (inférieur à 15%).

Pour des raisons de robustesse, l'impact des photos et des caractéristiques des photos sur les zones visuelles est effectué dans notre analyse. Nos résultats montrent que les photos ont une influence sur la significativité des unités de paysage à valeurs élevées, mais n'ont pas d'impact sur leur nombre. Le nombre de zones à qualité visuelle reste robuste dans notre modèle.

La grande contribution de notre chapitre est de cartographier les préférences des répondants issue d'une enquête. Cette cartographie permet de visualiser les différents arbitrages qui peuvent avoir entre le développement des infrastructures touristiques, urbaines, routières et électriques et l'esthétique du paysage. Cela constitue un enjeu important la mise en place des politiques d'aménagement et sylvicoles. En montrant les différentes zones de paysage préférées, nous avons évalué que les coupes forestières pratiquées dans cette région ont été toujours conformes à la préservation de l'esthétique du paysage. Le principal enjeu futur pour les planificateurs se trouve dans le développement des zones touristiques. Nous avons identifié les zones touristiques qui sont directement liées aux zones préférées par la population. Nous portons attention aux décideurs politiques d'intégrer ses zones comme des territoires sensibles nécessitant un traitement particulier. L'intérêt de notre étude est aussi temporel car avec le développement rapide des infrastructures touristiques, les zones préférées peuvent être touchées dans le futur ce qui pourrait engendrer des tensions la population locale et les décideurs. Ainsi, l'identification des zones préférées par le répondant pourrait aussi permettre aux planificateurs d'anticiper et de prévoir l'impact futur du développement des infrastructures sur les zones préférées.

TROISIÈME CHAPITRE : LIEN REVISITÉ ENTRE LA CERTITUDE ET LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS

1. INTRODUCTION

L'individu est souvent confronté à des choix sous incertitude. Cette incertitude est due à la non-familiarité du bien ou à la complexité de l'environnement. Face à cette contrainte, la littérature psychologique et du jugement (Simon, 1955 ; Mousavi et Gigerenzer, 2017) montrent que l'individu a tendance à ignorer une partie de l'information pour faciliter sa prise de décision en présence de capacité cognitive limitée. Cette non-considération volontaire de l'information correspond, dans les théories du jugement et de la décision, à des ensembles de stratégies permettant aux individus de prendre rapidement une décision ou de se focaliser que sur les aspects jugés pertinents pour trouver des solutions simples en situation d'incertitude.

Dans les modèles d'évaluation de biens non marchands, notamment le modèle d'évaluation contingente, Li et Mattsson (1995) traitent l'incertitude en considérant que la valeur informative des réponses incertaines est faible dans le calcul de la VAP. En effet, selon les auteurs, les individus incertains ne connaissent par leur « vraie » VAP par conséquent les réponses incertaines sont des « interférences ». Ils recommandent alors de répondre les réponses dans le maximum de vraisemblance selon le niveau de certitude. Champ *et al.* (1997) et Ready *et al.* (2001) adoptent une stratégie alternative en identifiant à l'aide de question de suivi le niveau de certitude du répondant puis en recodant toutes les réponses incertaines de "oui, je suis prêt à payer x dollars" à "non, je ne suis pas prêt à payer x dollars". Wang (1997) préconise d'inclure la réponse "je ne sais pas" pour éviter de recoder les réponses.

Dans les modèles de choix expérimentaux, la littérature traite les différents processus cognitifs qui régulent les décisions des individus qui font face à l'incertitude,

dans le cadre d'un exercice d'évaluation. Pour les individus incertains, la résolution de cette incertitude peut emprunter plusieurs mécanismes : (1) opter pour le choix du scénario dit de statu quo (Lundhede *et al.*, 2009) ; Brouwer *et al.*, 2010 ; Mattmann *et al.*, 2018 ; Uggeldahl *et al.*, 2016).; (2) faire des choix beaucoup plus aléatoires (Dekker *et al.* (2016) et Mattmann *et al.*, 2018) ; (3) passer moins de temps à répondre (Regier *et al.* (2019)).

Plus précisément, le caractère aléatoire des choix des individus incertains est apprécié à travers le paramètre d'échelle du modèle multinomial logit généralisé. La précision des réponses est dans ce cas expliquée dans cette littérature par le fait que les individus certains font plus de choix heuristiques simples c.-à-d. ils sélectionnent le plus souvent le statu quo ou la situation actuelle car cette stratégie est la plus simple (Dekker *et al.* (2016), Mattmann *et al.* (2018). Regier *et al.* (2019) donnent une explication alternative du mécanisme de l'incertitude en considérant que les individus résolvent l'incertitude en prenant moins de temps dans le questionnaire. Ces auteurs concluent que les individus incertains sont moins engagés dans l'exercice d'évaluation et ont tendance à faire des réponses plus aléatoires que les individus certains.

Dans ce chapitre, nous proposons un quatrième mécanisme qui est de procéder à l'évaluation des scénarios au travers d'un nombre plus restreint d'attributs. En effet, sous incertitude, l'individu pourrait ne considérer qu'une partie des attributs dans l'évaluation du bien afin de faciliter son choix. Le lien entre la non-considération des attributs et de la certitude serait dans ce chapitre un des canaux pouvant expliquer les choix plus aléatoires des individus incertains⁴³.

Il existe une littérature abondante dans le modèle des choix expérimentaux de l'effet de la non-considération des attributs sur la décision. La première conséquence est relative à la violation de l'axiome de continuité de la fonction d'utilité. Par

⁴³ Les individus peuvent choisir le statu quo, car ils protestent contre tout changement de politiques, ne sont pas satisfaits des coûts associés aux projets ou ont des préférences lexicographiques.

conséquent, l'absence de substitution de l'utilité marginale affecte la magnitude de la VAP marginale des attributs ignorés (Campbell, 2008 ; Carlsson *et al.*, 2010). La deuxième conséquence est documentée par DeShazo et Fermo (2004). Ces auteurs montrent que les individus qui ne considèrent pas tous les attributs font plus de choix aléatoires.

L'objectif de ce chapitre est de prendre en compte simultanément les réponses certaines et la non-considération des attributs dans le calcul de la VAP pour la préservation de l'esthétique du paysage. En s'inspirant dans la méthodologie de Li et Mattsson (1995) dans les modèles d'évaluation contingente et adaptée par Regier *et al.* (2019) dans les modèles de choix expérimentaux, nous proposons un modèle pondéré où le poids empirique dans le calcul de la VAP dépend du niveau de certitude et de la fréquence d'absence de considération d'un ensemble d'attributs par le répondant.

Empiriquement, nous allons d'abord valider le lien entre la non-considération des attributs et la certitude dans les modèles de choix expérimentaux pour s'assurer de la pertinence de contrôler cette relation dans la décision de l'individu. Notre stratégie économétrique consiste à développer un modèle séquentiel où la fréquence de non-considération des attributs est incorporée dans un modèle de paramètre d'échelle comme variables explicatives de la variance du terme d'erreur. Ensuite, la non-considération des attributs est endogénéisée afin de tenir compte des variables socio-économiques comme l'âge, le niveau de revenu et le niveau d'éducation, de l'expérience de l'individu dans la zone d'étude (nombre de visites dans la région d'étude) et les caractéristiques du questionnaire (présence ou absence de photo pour illustrer les ensembles de choix) et enfin le niveau de certitude. Selon ce modèle, le mécanisme de résolution de l'incertitude consiste pour l'individu incertain à restreindre une partie des attributs pour simplifier l'évaluation du bien. Ensuite, cette restriction

volontaire affecte la précision de la décision de l'individu incertain dont ses choix sont plus aléatoires et les préférences de l'individu⁴⁴ sur les attributs non considérés.

Cependant, pour un individu certain ne considérant pas tous les attributs, fait-il moins de choix aléatoires qu'une personne incertaine ? En d'autres termes, la différence de la précision des décisions entre les individus certains ou incertains est-elle due principalement à la faible probabilité qu'un individu évalue un bien à travers un nombre restreint d'attributs ? Pour tester cette hypothèse, nous avons inclus dans le modèle de paramètre d'échelle le niveau de la certitude selon différents cadres d'analyse capturant la fréquence de restriction des attributs.

En utilisant une enquête de choix expérimentaux sur 998 individus dans la province du Québec, nous montrons que les individus évaluant l'esthétique du paysage dans la région de Charlevoix au travers un nombre attributs plus restreints font plus de choix aléatoires. La probabilité qu'un individu soit dans ce cadre restreint dépend dans notre enquête du sexe, du niveau de certitude et du nombre de visites dans le site d'étude. Plus précisément les femmes, l'expérience capturée par le nombre de visites dans les régions et les individus les plus certains réduisent la fréquence de la non-considération des attributs. Par contre, nous ne trouvons pas d'effet significatif pour l'âge, les années d'éducation et la présence de photo illustrant les ensembles de choix. Notre variable d'intérêt est le mécanisme expliquant le comportement de l'individu certain. Nous montrons que les individus sont plus probables d'évaluer l'esthétique au travers un nombre d'attributs plus restreints. Le processus de résolution de l'incertitude aboutissant à la non-considération des attributs aboutit à des choix plus aléatoires.

Après avoir montré que les individus incertains sont plus probables de ne pas considérer certains attributs, nous testons la précision des choix des individus certains dans ce cadre avec un nombre d'attributs plus restreints. Nous montrons que l'individu certains qui ne considère pas les attributs fait aussi des choix aléatoires. Nos résultats

⁴⁴ Les individus incertains ont une préférence plus élevée sur les attributs considérés dans l'exercice d'évaluation du bien.

mettent en lumière l'importance de la prise en compte de la restriction du nombre d'attributs dans la compréhension du lien entre l'incertitude et la décision de l'individu.

Après avoir établi le lien entre la non-considération des attributs et le niveau de certitude, nous avons développé un modèle pondéré afin de calculer la VAP pour l'amélioration de l'esthétique du paysage. Nous avons repondérer la contribution empirique des choix des individus selon le niveau de certitude et de la fréquence de non-considération des attributs. L'hypothèse de ce modèle est de considérer que l'incertitude a un effet aussi sur les préférences selon la fréquence de non-considération des attributs. Nous démontrons que les VAP sont largement surestimées si le chercheur ne traite pas l'incertitude et la fréquence de non-considération des attributs.

Notre chapitre permet de comprendre un nouveau mécanisme pouvant expliquer la différence de précision des réponses entre les individus certains et incertains. En effet, nous avons montré que cette différence pourrait être due à l'évaluation des scénarios au travers un nombre restreint d'attributs. De plus, nous avons établi des questions de suivi supplémentaires pour aider les chercheurs à comprendre les raisons de la non-considération des attributs. Nous avons trouvé que la difficulté de considérer tous les ensembles de choix en même temps, la fatigue et le manque de concentration sont les principales raisons évoquées par les répondants.

Ce chapitre est divisé de la manière suivante : la section 2 propose la revue de littérature de la certitude dans les modèles de préférences déclarées ; la section 3 traite du lien entre la certitude et la non-considération des attributs ; la section 4 propose l'identification de la non-considération des attributs et de la certitude dans le questionnaire ; la section 5 montre la corrélation entre la fréquence de non-considération des attributs et le niveau de certitude des réponses ; la section 6 évalue l'impact de la certitude sur la précision des décisions ; la section 7 étudie le lien simultané entre la fréquence de non-considération des attributs et la certitude des réponses ; dans la section 8, nous allons évaluer le lien entre les raisons de la non-

considération des attributs et la certitude ; la section 9 sera consacrée à l'évaluation de la VAP ; enfin nous allons conclure dans la section 10.

2. CERTITUDE DANS LA LITTÉRATURE DES PRÉFÉRENCES DÉCLARÉES

L'évaluation des biens non marchands par l'individu est très souvent effectuée dans des situations d'incertitude (Mousavi et Gigerenzer, 2017). Dans les modèles d'évaluation contingente, l'incertitude peut survenir lorsque le bien est non familier, ou l'individu manque d'expérience dans l'évaluation des biens non marchands. Si l'incertitude n'est pas traitée correctement, les VAP obtenues peuvent s'éloigner de sa "vraie" valeur c.-à-d. elle pourrait être biaisée. Shaikh *et al.* (2007) résument les trois principaux modèles pour tenir compte de l'incertitude dans les modèles d'évaluation contingente : la fonction de vraisemblance pondérée (Li et Mattsson, 1995), le modèle d'incertitude asymétrique (Champ *et al.* 1997 ; Ready *et al.*, 2001) et le modèle d'évaluation aléatoire (Wang, 1997). Li et Mattsson (1995) sont les premiers à traiter l'incertitude dans un modèle d'utilité aléatoire. Les auteurs considèrent les réponses incertaines comme un bruit en d'autres termes, elles contiennent une valeur informative faible sur la "vraie" valeur de la VAP. La fonction de vraisemblance pondérée consiste à pondérer les réponses selon le niveau de certitude dans la fonction de vraisemblance. La pondération provient des questions de suivi sur le niveau de certitude du répondant de 0 à 100%. Champ *et al.* (1997) et Ready *et al.* (2001) proposent un modèle alternatif pour incorporer les questions de suivi (modèle d'incertitude asymétrique). En utilisant une échelle de 1 (très incertain) à 10 (très certain), les auteurs proposent de recoder "oui, je suis prêt à payer x dollars" à "non, je ne suis pas prêt à payer x dollars" si les réponses sont incertaines. Wang (1997) propose un modèle ne nécessitant pas de question de suivi. Il incorpore une nouvelle réponse dans le questionnaire "je ne sais pas" pour capter les réponses incertaines. Dans son modèle appelé modèle d'évaluation aléatoire, la fonction de maximum de vraisemblance comporte les trois catégories de réponses : "non, je ne suis pas prêt à payer x dollars", "oui, je suis prêt à payer x dollars" et "je ne sais pas si je suis prêt à payer x dollars".

Dans les modèles à choix discrets ou des choix expérimentaux, les chercheurs supposent que les individus certains font des choix moins aléatoires parce qu'ils sont plus engagés (Regier *et al.*, 2019) ou font moins de choix heuristiques simplifiés ou choix du statu quo (Dekker *et al.*, 2016). Pour traiter l'incertitude dans les modèles de choix discret, certains auteurs cherchent à identifier les causes de l'incertitude. En effet, la certitude pour l'individu peut être positivement affectée par l'âge (Brouwer *et al.*, 2010 ; Dekker *et al.*, 2016), le revenu (Olsen *et al.*, 2011 ; Brouwer *et al.*, 2010), la crédibilité de l'alternative (Brouwer *et al.*, 2010 ; Dekker *et al.* 2016), le niveau d'éducation (Kosenius, 2009), les différences d'utilité entre les alternatives et le statu quo (Olsen *et al.*, 2011 ; Uggeldahl *et al.*, 2016).

D'autres études traitent directement l'incertitude dans la spécification du modèle en supposant que les individus certains font moins d'erreurs (variance faible) (Lundhede *et al.*, (2009) ; Brouwer *et al.*, 2010 ; Mattmann *et al.*, 2018 ; Uggeldahl *et al.*, 2016). La certitude est traitée comme une variable explicative de la variance des erreurs dans les modèles économétriques (Regier *et al.*, 2019). Dekker *et al.* (2016) introduisent une spécification structurelle pour traiter des erreurs de mesures du niveau de certitude. L'incertitude peut aussi résulter de la différence de l'utilité entre les alternatives (Olsen *et al.*, 2011, Regier *et al.* 2014). Si la différence de l'utilité est faible entre les alternatives, l'individu ne sera pas capable de faire un choix certain entre les différentes alternatives.

3. LIEN ENTRE CERTITUDE ET NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS

L'ensemble des processus cognitifs permettant à la résolution de l'incertitude est documenté dans la littérature psychologique et du jugement (Simon, 1955 ; Kahneman et Egan, 2011 ; Tversky et Kahneman , 1974 ; Gilovich *et al.* , 2002). Mousavi et Gigerenzer, 2017). L'individu sous incertitude dispose d'un ensemble de stratégies pour s'adapter dans le cadre d'évaluation de bien. Ces stratégies consistent à

ignorer une partie de l'information ou à traiter l'information rapidement et le plus simplement possible (Payne *et al.*, 1993 ; Gigerenzer et Brighton, 2009) pour faciliter son choix. La simplification de l'information peut aboutir à des réponses aléatoires ou à un manque d'engagement du répondant.

Dans les modèles de choix expérimentaux, les chercheurs assument que les individus certains font des choix moins aléatoires car ces individus sont moins probables de faire des choix heuristiques simplifiés. Ces derniers sont identifiés par le choix pour le statu quo ou la situation actuelle qui est le choix le plus simple possible (Dekker *et al.*, 2016). Cependant, le choix du statu quo peut se confondre à des protests⁴⁵ ou à des préférences lexicographiques.

La littérature des choix expérimentaux identifie les problèmes méthodologiques résultant de la non-considération des attributs. En effet, suivant les théories néoclassiques, la méthode des choix expérimentaux est basée sur l'hypothèse selon laquelle les individus considèrent et évaluent tous les attributs dans les ensembles de choix ainsi qu'une substituabilité complète entre les attributs. Cette dernière condition assure que les répondants fassent des arbitrages entre les alternatives (Campbell, 2008) et choisit le meilleur des alternatives. Ces hypothèses sont issues des axiomes de continuité et de transitivité (Mas-Colell *et al.*, 1995). De ce fait, si un ensemble d'attributs n'est pas considéré (Carlsson *et al.*, 2010 ; Hensher *et al.*, 2005 ; Swait, 2001) ou que l'individu a des préférences lexicographiques (Rekola, 2003), Sælensminde, 2006), les axiomes de continuité et de transitivité sont violés. Par conséquent, sans continuité, l'arbitrage entre les différents attributs n'existe pas (McIntosh et Ryan, 2002 ; Rosenberger *et al.*, 2003). Ainsi, le taux marginal de substitution n'est pas calculable ainsi que la VAP marginale. La littérature existante propose actuellement trois types de solutions pour résoudre ce problème.

⁴⁵ Certains individus choisissent le statu quo ou la situation actuelle pour protester contre une politique visant à améliorer un bien en contrepartie d'une contribution monétaire

La méthode la plus simple pour traiter de la non-considération des attributs dans les méthodes des choix expérimentaux est d'éliminer les individus qui ne considèrent pas tous les attributs de l'échantillon. Cependant, Lancsar et Louviere (2006) ne recommandent pas cette stratégie parce qu'elle peut affecter la validité de la VAP. La deuxième méthode consiste à restreindre les effets marginaux des attributs ignorés à zéro (Hensher *et al.*, 2005; Puckett et Hensher, 2009) ou plus faibles que les attributs considérés (Caputo *et al.*, 2016). Finalement, d'autres auteurs (Campbell *et al.*, 2008 ; Kosenius, 2013 ; DeShazo et Fermo, 2004) considèrent la fréquence des attributs non considérés comme une variable explicative dans la variance des erreurs. De ce fait, les individus qui ne considèrent pas le plus souvent les attributs font plus de réponses aléatoires.

Nous allons pour la première dans la littérature tester un nouveau mécanisme consistant à procéder à la résolution de l'incertitude au travers un nombre plus restreint d'attributs. Plus précisément, l'incertitude affecte la probabilité que l'individu ne considère pas les attributs. Par conséquent, d'une part, les individus incertains sont plus probables de faire de choix aléatoires (hétérogénéité d'échelle) et d'autre part, les attributs non considérés sont moins appréciés par les individus (hétérogénéité de préférence). Nous allons donc tester ce mécanisme par le modèle du logit multinomial généralisé. Cette stratégie empirique incorpore une hétérogénéité sur la précision des choix et une hétérogénéité sur les préférences selon le niveau de certitude et la fréquence de non-considération des attributs.

L'objectif de notre étude sera alors d'identifier clairement le comportement de l'individu certain pour identifier la vraie "VAP". En nous rapprochant de la méthode de Li et Mattsson (1995) , nous cherchons à identifier la valeur informationnelle de chaque individu selon son niveau de certitude et de fréquence de non-considération des attributs. Cela implique de pondérer le poids empirique de chaque réponse des répondants selon le niveau de certitude et le niveau de restriction des attributs.

Le calcul du poids empirique se base sur ces différentes hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : *Dans le cadre d'un exercice d'évaluation, les individus les plus certains sont moins probables de faire des choix au travers d'un nombre restreint d'attributs c.-à-d. ils considèrent le plus fréquemment les attributs à travers les ensembles de choix*⁴⁶.

Corollaire 1 : Les individus certains considèrent le plus souvent les attributs parce qu'ils sont plus engagés (plus concentrés dans le questionnaire) (Regier *et al.*, 2019) ou selon Mousavi et Gigerenzer (2017) sont plus familiers avec l'esthétique du paysage.

Hypothèse 2 : *Les individus qui ne considèrent pas le plus souvent les attributs sont plus probables de faire des choix aléatoires.*

Corollaire 2 : Selon Campbell (2008), les répondants qui ne considèrent pas tous les attributs dans les ensembles de choix font plus d'erreurs dans leur choix. Par conséquent, les estimés de la VAP correspondant à ces individus sont susceptibles d'être biaisés.

Hypothèse 3 : *Les individus les plus certains sont moins probables de faire des choix aléatoires parce qu'ils sont probables de considérer tous les attributs.*

Corollaire 3 : Si l'hypothèse 1 et l'hypothèse 2 sont vérifiées alors une partie de l'explication de Dekker *et al.* (2016) qui supposent que les individus les plus incertains font plus de choix aléatoires, pourrait être expliquée par la restriction du nombre d'attributs.

⁴⁶ Dekker *et al.* (2016) et Regier *et al.* (2019) font l'hypothèse que les individus incertains font des choix heuristiques simplifiés en sélectionnant le statu quo. Nous adoptons une stratégie différente, car le choix du statu quo peut inclure les protestes et les préférences lexicographiques.

Hypothèse 4: Si l'hypothèse 3 est vérifiée, il existe la possibilité que des individus certains restreignent le nombre d'attributs dans le cadre de l'exercice d'évaluation. Alors ces individus font aussi des choix aléatoires.

Corollaire 4 : L'hypothèse 4 représente la différence fondamentale avec l'article de Dekker *et al.* (2016). En effet, le niveau de certitude seul ne pourrait pas totalement expliquer la différence d'erreurs dans les réponses entre les individus. Nous voulons montrer que les individus certains qui ne considèrent pas tous les attributs font aussi des choix aléatoires. Dans ce chapitre, la précision des choix dépend principalement de la restriction du nombre d'attributs. Le niveau de certitude détermine la probabilité que l'individu considère les attributs. De ce fait, l'hypothèse 4 se réfère à la crédibilité des réponses certaines.

Hypothèse 5 : Si l'hypothèse 4 est vérifiée, les individus certains qui considèrent tous les attributs ont une valeur informationnelle plus élevée pour déterminer la "vraie" valeur de la VAP.

Corollaire 5 : En utilisant la fonction de vraisemblance pondérée, nous faisons l'hypothèse que le poids empirique dans la fonction de vraisemblance ne dépend pas que du niveau de certitude comme dans le papier de Li et Mattsson (1995). Nous voulons montrer que la valeur informative est plus élevée pour les individus certains dans un cadre où tous attributs sont considérés.

Les explications des stratégies empiriques dans ce chapitre peuvent être résumées comme suit :

- Hypothèse 1 : nous allons vérifier la corrélation entre le niveau de certitude et la fréquence de non-considération des attributs.
- Hypothèse 2 : cette hypothèse revient à tester le papier de Campbell (2007), en l'occurrence la fréquence de non-considération des attributs est la variable explicative de la différence de variance dans le paramètre d'échelle (modèle de

multi-logit généralisé). Nous supposons que l'augmentation de la fréquence de non-considération des attributs est associée à une variance plus élevée des réponses.

- Hypothèse 3 : cette hypothèse est testée en endogénéisant la fréquence de non-considération des attributs dans le modèle de l'hypothèse 2. Nous allons développer un modèle séquentiel où dans la première étape la fréquence de non-considération des attributs est expliquée par des variables sociodémographiques comme l'âge, le sexe, le revenu, par l'expérience du lieu d'étude (nombres de visites dans la zone d'étude), les photos dans les ensembles de choix et enfin le niveau de certitude. En estimant un modèle de probit ordonnée, nous supposons que les individus certains sont moins probables de restreindre le nombre d'attributs (hypothèse 1). Dans la deuxième étape de l'estimation, nous utilisons la fréquence de non-considération des attributs prédite dans le modèle à paramètre d'échelle. Pour des raisons de robustesse, nous avons développé une extension du modèle séquentiel en endogénéisant le niveau de certitude et estimer un modèle à trois étapes de manière simultanée où la certitude est supposée dépendre des variables sociodémographiques (modèle structurel). Dans la première étape de l'estimation, la certitude est estimée par un probit ordonné où les variables explicatives sont l'âge, le niveau d'éducation, le sexe, le nombre de visites dans la zone d'étude, le revenu et la présence de photo dans les ensembles de choix. Dans la deuxième étape, la certitude prédite représente une variable explicative pour déterminer la probabilité de considérer les attributs. Et enfin dans la troisième étape du modèle structurel, la fréquence de non-considération des attributs est incorporée dans le paramètre d'échelle du modèle de choix pour expliquer la variance des erreurs.
- Hypothèse 4 : afin de vérifier cette hypothèse, nous avons identifié les individus selon le niveau de certitude et le degré de restriction du nombre d'attributs c.-à-d. les individus certains (incertains) qui (ne) considèrent (pas). Ces variables sont introduites dans le paramètre d'échelle pour expliquer la différence de variance du modèle de choix. Si l'hypothèse 4 est vérifiée, les individus les plus certains qui considèrent tous les attributs font moins de choix aléatoires.

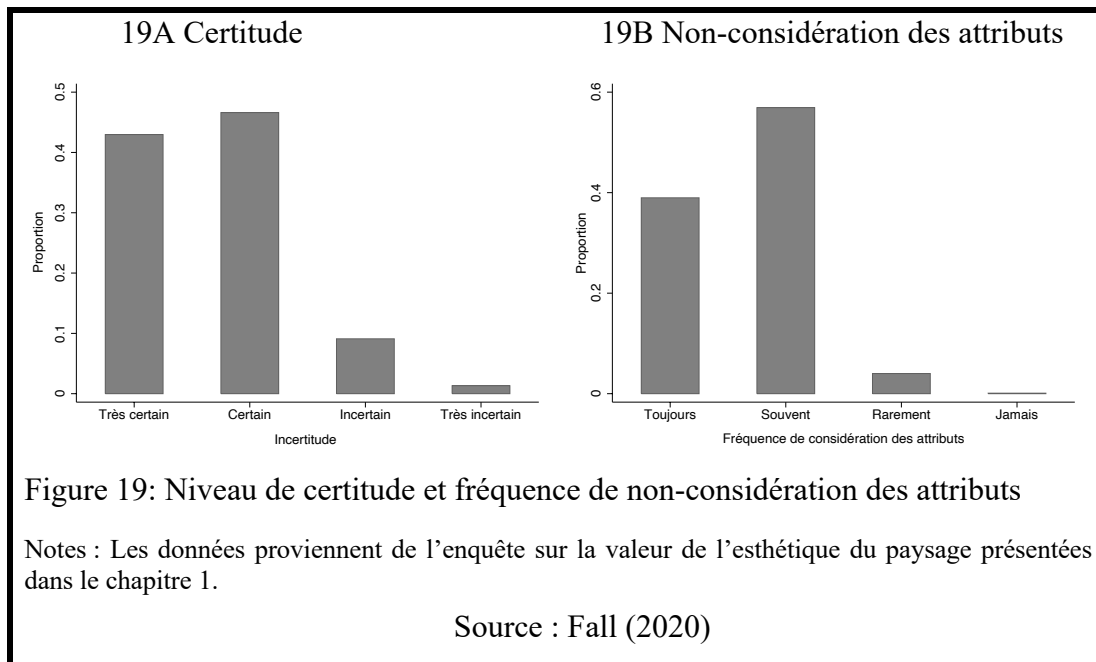
- L'hypothèse 5 correspond à pondérer l'impact empirique des réponses selon le niveau de fréquence de non-considération des attributs et du niveau de certitude. L'approche utilisée sera un modèle pondéré de logit à coefficients aléatoire (RPL pondéré) où le poids empirique est une fonction croissante du niveau de certitude et décroissante avec la fréquence de non-considération des attributs.

4. IDENTIFICATION DE LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS ET DE LA CERTITUDE

L'enquête des choix expérimentaux utilisée est celle de l'évaluation de l'esthétique du paysage définie dans le chapitre 1. Pour identifier la certitude, nous avons établi une question de suivi pour mesurer le niveau de certitude après chaque ensemble de choix (Dekker *et al.*, 2016 ; Lundhede *et al.*, 2009 ; Mattmann *et al.*, 2018). La question est la suivante : "êtes-vous certain de votre choix : (1) très certain (2) certain (3) incertain (4) très incertain". La moyenne de la certitude⁴⁷ est définie comme pourcentage de réponses très certaines ou certaines à travers les ensembles de choix. De ce fait, nous supposons une variable muette égale à 1 si le choix est certain ou très certain dans chaque ensemble de choix. La moyenne de certitude sur les 6 ensembles de choix correspond à la part de réponses très certaines ou certaines pour le répondant. Ainsi, un individu est dit certain si la moyenne de certitude est supérieure à 66%, hésitant si la moyenne est comprise entre 33% et 66% et enfin incertain si la moyenne de certitude est inférieure à 33%. La figure 19A montre les statistiques descriptives selon le niveau de certitude des réponses. La majorité des réponses des répondants soit certaines ou très certaines. En effet, 42,97% des réponses sont très certaines et 46,61% certaines. La proportion des réponses incertaines et très incertaines est respectivement de 9,10% et 1,33%.

⁴⁷ Nous définissons une variable binaire c_{it} égale à 1 si la réponse est certaine ou très certaine pour chaque ensemble de choix. La moyenne certitude C_{it} est égale à la moyenne du niveau de certitude à travers les ensembles de choix

La fréquence de non-considération des attributs est identifiée avec la question suivante : "Avez-vous considéré tous les attributs ? (1) toujours (2) souvent (3) rarement (4) jamais" (Campbell, 2008). La figure 19B retrace la proportion des



individus selon la fréquence de non-considération des attributs.

Plus précisément, 0,10% des individus n'ont jamais considéré les attributs de l'esthétique du paysage, 4,10% rarement, 56,91% souvent et 38,89% toujours. La proportion des individus qui ont considéré tous les attributs dans les ensembles de choix est proche des études de Hensher *et al.* (2005) (29%), Campbell et Lorimer (2009) (25%) et Carlsson *et al.* (2010) (42%).

Il existe une vaste littérature traitant les causes de la restriction du nombre d'attributs et les conséquences sur la décision du répondant. Des auteurs comme DeShazo et Fermo (2002) et Dellaert *et al.* (2012) montrent que la complexité des ensembles de choix c.-à-d. l'augmentation des alternatives et des niveaux des attributs

pourraient entraîner une réduction du nombre d'attributs considérés par le répondant. Alemu *et al.* (2013) expliquent les raisons de la non-considération des attributs par la complexité des ensembles de choix, les réponses lexicographiques, les charges cognitives regroupant la fatigue et le manque de concentration etc. Dans notre questionnaire, nous avons identifié les raisons de la non-considération des attributs en proposant une question de suivi si l'individu a ignoré au moins une fois un attribut. La question de suivi est la suivante : "pour quelles raisons avez-vous ignoré les attributs ? (1) attributs et indicateurs mal définis, (2) difficile d'imaginer tous les attributs dans un même ensemble de choix, (3) la fatigue, (4) le questionnaire est trop long, (5) le manque de concentration, (6) ne pas s'intéresser à tous les attributs (préférences lexicographiques), (7) autres". Pour être en conforme avec la littérature, nous avons considéré les charges cognitives si l'individu répondant n'a pas considéré les attributs parce que le questionnaire est trop long, il est fatigué ou manque de concentration. Dans notre étude, nous avons capté la complexité de l'esthétique du paysage par la question suivante : "difficile d'imaginer tous les attributs dans un même ensemble de choix". Cette définition de la complexité est différente de celle de DeShazo et Fermo (2002). Ces auteurs capturent la complexité comme une variable croissant avec le nombre d'alternatives ou de niveaux des attributs dans les ensembles de choix.

Le tableau 13 résume le pourcentage des individus par rapport aux raisons des de la non-considération des attributs. Ce tableau montre que 49,92% des personnes n'ont pas considéré au moins une fois à cause de la complexité des ensembles de choix. 2,96% des individus mentionnent la cause de la non-considération des attributs par la fatigue, 5,91% par la longueur du questionnaire et 3,94% par le manque de concentration. Nos statistiques montrent aussi que 23,15% ne s'intéressent pas à tous les attributs (préférences lexicographiques) et 6,24% n'ont pas considéré les attributs pour d'autres raisons.

Tableau 13: Proportion des individus selon la raison de la non-considération des attributs

	% d'individus.	Nbre d'individus.
Attributs et indicateurs mal définis (mauvaises informations)	7,88%	48
Autres	6,24%	38
Difficile d'imaginer de tous les attributs	49,92%	304
La fatigue	2,96%	18
Le questionnaire est trop long	5,91%	36
Manque de concentration	3,94%	24
Vous ne vous intéressez à tous les attributs	23,15%	141
Total	100%	609

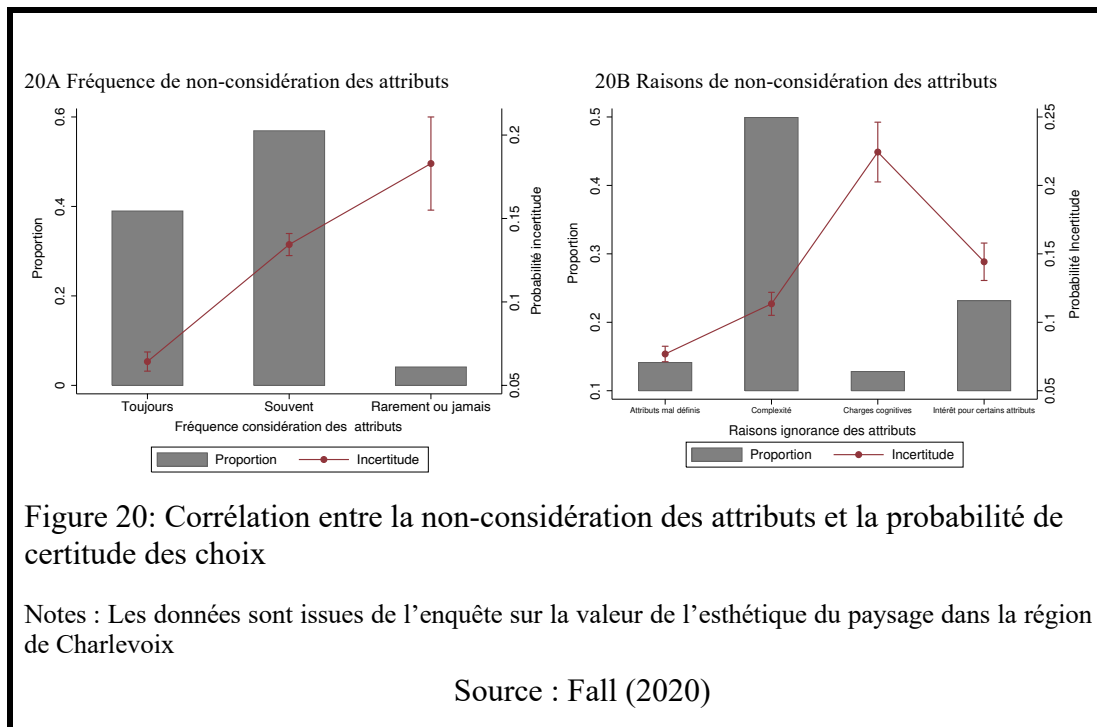
Notes : données de l'enquête sur la valeur du paysage. Calcul fait par l'auteur.

Source : Fall (2020)

5. CORRÉLATION ENTRE LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS ET LE NIVEAU DE CERTITUDE DES RÉPONSES

Dans cette section, nous allons tester l'hypothèse 1 correspondant à la corrélation entre le niveau de certitude et la fréquence de non-considération des attributs. La figure 20A montre la corrélation positive entre la fréquence de non-considération des attributs et la probabilité que la réponse de l'individu soit incertaine ou très incertaine. La figure 20B montre la corrélation entre les raisons qui ont poussé l'individu à ne pas considérer les attributs et la probabilité d'une décision incertaine. Nous constatons que pour les individus qui ont eu des charges cognitives⁴⁸, la non-considération des attributs a une corrélation positive plus élevée avec le niveau d'incertitude. Regier *et al.* (2019) l'expliquent par un manque d'engagement des individus incertains dans le questionnaire ou par la rapidité des réponses.

⁴⁸ Les raisons sont liées à la fatigue, au questionnaire trop long ou manque de concentration



De ce fait, ces individus ont tendance à faire des choix plus aléatoires. Cette corrélation est plus faible si l'individu juge que les attributs sont mal définis.

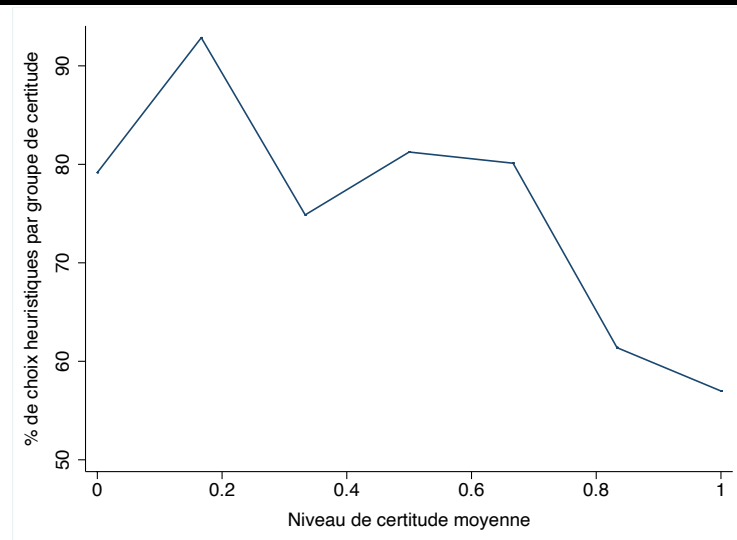


Figure 21: Effet du niveau de certitude sur la proportion de la non-considération des attributs

Notes : La proportion de la non-considération des attributs représente le pourcentage des individus qui ont souvent, rarement ou jamais considéré les attributs. Le niveau de certitude moyen est la proportion des réponses certaines ou très certaines à travers les ensembles de choix.

Source : Fall (2020)

La figure 21 montre la corrélation entre le niveau moyen de certitude à travers les ensembles de choix et la proportion des attributs non considérés. Cette proportion baisse avec le niveau de certitude moyen.

Plus précisément, le tableau 14 nous renseigne que le pourcentage des individus certains qui ont considéré tous les attributs est de 40,94% (supérieur à la moyenne 38,92 %). 15,79% des individus incertains et 21,06% des individus hésitants qui ont considéré tous les attributs.

Tableau 14⁴⁹: Distribution de la fréquence de considération des attributs selon le niveau de certitude

Groupe de certitude	Fréquence de considération des attributs				N
	Toujours	Souvent	Rarement	Jamais	
Individu incertain	15,79%	68,42%	15,79%	0,00 %	69
Individu hésitant	21,06%	77,36%	1,58 %	0,00%	82
Individu certain	40,94 %	55,30 %	3,67 %	0,09 %	847
Total de l'échantillon	38,92 %	56,98 %	4,01 %	0,08 %	

Source : Fall (2020)

Le tableau 15 montre les différentes raisons qui motivent la restriction du nombre d'attributs par l'individu. 40,35% (supérieurs à la moyenne de l'échantillon 3,96%) des individus très incertains ont abouti à la non-considération des attributs parce que l'individu manque de concentration et 7,02% à cause de la fatigue. Par conséquent, leurs réponses sont probablement aléatoires ou à faibles valeurs informatives.

Tableau 15: Groupe de certitude et raison de la non-considération des attributs

Niveau de certitude	Attributs mal définis	Autres	Complexité	Fatigue	Questionnaire trop long	Manque de concentration	Préférences lexicographiques
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Très incertain	3,51%	1,75%	22,81%	7,02%	3,51%	40,35%	21,05%
Incertain	6,28%	7,91%	44,19%	4,19%	6,28%	6,05%	25,12%
Certain	8,27%	5,26%	51,00%	3,16%	6,58%	2,45%	23,28%
Très certain	7,80%	7,47%	51,85%	1,85%	4,61%	3,94%	22,48%
Total	7,81%	6,24%	50,03%	2,91%	5,85%	3,96%	23,20%

Source : Fall (2020)

⁴⁹ Note : Le statut de certitude est défini par le niveau de certitude moyenne après les 6 ensembles de choix. Nous avons considéré d'abord une variable muette égale à 1 si l'individu choisit une option en étant certaine ou très certaine. Incertain correspond à un niveau de certitude inférieur à 0.33, hésitant entre 0.33 et 0.66 et certain supérieur à 0.66.

Dans la proportion des réponses certaines ou très certaines, les individus réduit le nombre d'attributs considérés dans le cadre de l'exercice d'évaluation en grande partie à cause de la complexité à des ensembles de choix (51% des réponses).

6. IMPACT DE LA CERTITUDE AU TRAVERS D'UN NOMBRE RESTREINT D'ATTRIBUTS SUR LA PRÉCISION DES DÉCISIONS

Après avoir évalué la corrélation entre la non-considération des attributs et le niveau de certitude, nous allons étudier l'effet du comportement lorsque l'individu restreint le nombre d'attributs sur la décision de l'individu puis sur les facteurs qui influencent ces comportements dont le niveau de certitude. Plus précisément, nous allons tester les hypothèses 2 et 3, en d'autres termes, la non-considération des attributs pourraient impliquer des choix aléatoires (H2) et ce comportement est moins fréquent chez les individus certains (H3). Nous avons choisi le modèle de logit multinomial généralisé pour expliquer le mécanisme de l'incertitude dans le processus de décision de l'individu. Nous faisons l'hypothèse que l'incertitude affecte la précision des choix au travers la restriction du nombre d'attributs et la préférence des attributs non considérés. L'avantage du modèle de logit multinomial est la variation du paramètre d'échelle selon la restriction du nombre d'attributs. Le paramètre d'échelle influence l'hétérogénéité de la variance des erreurs (hétérogénéité d'échelle) et l'hétérogénéité des préférences.

6.1. MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE

6.1.1. *Modèle de multinomial généralisé*

La modélisation des choix aléatoires selon la fréquence de non-considération des choix consiste à supposer que la variance des termes d'erreur de la fonction d'utilité est une fonction de la fréquence de non-considération des attributs. En d'autres termes,

la variance du terme d'erreurs⁵⁰ de l'individu i peut se définir de la forme suivante : $var(\varepsilon_{ijt} = \frac{\pi}{6\lambda_i^2})$ avec $\lambda_i = \exp(\tau I_i)$ le paramètre d'échelle, I_i la fréquence de non-considération des attributs de l'individu i et τ le coefficient capturant l'impact de I_i sur λ_i . I_i est identifiée par la question suivante : "avez-vous considéré tous les attributs ? (1) toujours (2) souvent (3) rarement (4) jamais" Nous supposons que la différence de variance entre les groupes est capturée par la restriction du nombre d'attributs par l'individu. Par hypothèse, les individus qui ont une variance plus élevée font plus d'erreurs ou de choix plus aléatoires.

/

Soit la fonction l'utilité s'écrit de la manière suivante :

$$U_{ijt}^* = \lambda_i V_{ijt} + \lambda_i \varepsilon_{ijt} = \exp(\tau I_i)(\beta X_{ijt}) + \varepsilon_{ijt} \quad \text{Éq. 23}$$

X_{ijt} est un vecteur d'attribut pour l'individu i dans l'ensemble de choix t pour l'alternative j . Le paramètre d'échelle λ_i est une fonction décroissante de I_i . L'hypothèse 2 revient à tester si $\tau < 0$. Les individus dont la fréquence de non-considération des attributs est plus élevée ont des variances plus importantes par conséquent un paramètre d'échelle plus faible (Campbell, 2008 ; Kosenius, 2009 ; DeShazo et Fermo, 2002). De plus, ce modèle implique une hypothèse supplémentaire à la lumière de Caputo *et al.* (2016) qui montrent que la fréquence de non-considération des attributs réduit la magnitude des effets marginaux des coefficients (hétérogénéité des préférences).

La probabilité conditionnelle⁵¹ de l'individu i de choisir une alternative j dans l'ensemble de choix t est décrite de la manière suivante :

⁵⁰ Le terme d'erreur de la fonction d'utilité ε_{ijt} suit une distribution de valeurs extrêmes

⁵¹ Cette probabilité est estimée par le modèle du Generalized MultiNomial Logit (GMNL)

$$\Pr (y_{it} = j | I_i, X_{ijt}, \tau) = \frac{\exp (\exp (\tau I_i)(\beta X_{ijt}))}{\sum_{k=1}^J \exp (\exp (\tau I_i)(\beta X_{ikt}))} \quad \text{Éq. 24}$$

Avec $y_{it} = 1$ si l'individu i choisit l'alternative j dans l'ensemble de choix t . L'équation 24 calcule la probabilité de choisir une alternative j dans l'ensemble de choix t par l'individu conditionnellement aux paramètres du modèle. La non-considération des attributs affectent cette probabilité par l'intermédiaire du paramètre τ dans le paramètre d'échelle⁵².

6.1.2. *Modèle séquentiel : variables explicatives affectant la fréquence de non-considération des attributs*

Nous supposons maintenant que la non-considération des attributs est endogène. Notre stratégie empirique se base sur un modèle de type séquentiel dans lequel la non-considération des attributs est due à des caractéristiques inhérentes aux ensembles de choix (absence ou présence de photo), au niveau de certitude des réponses de l'individu et enfin à des variables sociodémographiques du répondant (âge, revenu, niveau d'éducation, nombre de visites dans les régions d'étude). Le modèle séquentiel permet de savoir dans quelle mesure le niveau de certitude affecte la décision de l'individu par le canal de la restriction des attributs. De ce fait, le modèle séquentiel permet de tester notre hypothèse 3 c.-à-d. que les individus les plus certains font moins de réponses aléatoires, car ils sont plus probables de considérer tous les attributs. Notre stratégie empirique repose sur un modèle à deux étapes ; la première étape consiste à estimer les facteurs affectant la non-considération des attributs par un modèle de probit ordonné⁵³. Dans la deuxième étape, la fréquence de non-considération des attributs prédite I_i sera incluse dans le modèle dans le paramètre d'échelle de l'équation 24. Soit le modèle de première étape suivante :

⁵² Voir détails techniques (Gu et al. (2013))

<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1536867X1301300213>

⁵³ Nous appliquons le probit ordonné à cause de la nature de la catégorielle de la variable

$$I_i \sim Oprobit(\alpha C_{it}^* + \omega Photo + \varphi V_i) \quad \text{Eq. 25}$$

avec V_i représentant un vecteur de variables explicatives notamment le nombre de visites dans site d'étude pour capter l'expérience de l'individu, le nombre d'années d'éducation, l'âge, le niveau de revenu en log. $Photo$ est une variable binaire égale à 1 si les ensembles de choix sont illustrés par des photos et zéro sinon. C_{it}^* est le niveau de certitude supposé exogène. Notre coefficient d'intérêt correspondant à α . Nous testons si $\alpha < 0$ c.-à-d. l'individu certain est plus probable de considérer tous les attributs (hypothèse 3). Dans la deuxième étape, la variable prédite I_i sera introduite dans la l'équation 9. L'hypothèse 2 consiste à tester si $\tau < 0$. Par conséquent, les individus les plus certains considèrent le plus souvent les attributs donc sont susceptible de faire moins d'erreurs.

6.1.3. *Modèle structurel : variables explicatives affectant la fréquence de non-considération des attributs et le niveau de certitude*

Dekker *et al.* (2016) montrent que les modèles de comportement séquentiel ne sont pas efficaces pour calculer les estimés dans un modèle de choix discret. Ils suggèrent d'utiliser un modèle structurel où tous les paramètres sont estimés de manière simultanée. Dans cette section, nous allons estimer le modèle structurel en endogénéisant aussi le niveau de certitude. La littérature montre un lien entre le niveau des certitudes et les variables sociodémographiques comme le revenu, l'âge et les années d'éducation (Mattmann *et al.*, 2018 ; Brouwer *et al.*, 2010 ; Olsen *et al.*, 2011). Notre modèle structurel est basé sur trois étapes où la première étape ou modèle de mesure consiste à estimer le niveau de certitude et des variables explicatives par un probit ordonné⁵⁴. Dans la deuxième étape, le niveau de certitude prédite est inclus dans l'équation 27 (hypothèse 3). Enfin, le niveau de la non-considération des attributs est inclus dans le modèle de

⁵⁴ Modèle de probit ordonné à effet fixe.

choix. Les modèles de la deuxième et de la troisième étape sont estimés de manière simultanée pour corriger les problèmes d'erreur de mesure⁵⁵.

$$C_{it} \sim Oprobit(\gamma Photo + \rho V_i) \quad \text{Éq. 26}$$

L'équation de la deuxième étape peut s'écrire de la manière suivante :

$$I_i \sim Oprobit(\alpha \hat{C}_{it} + \omega Photo + \varphi V_i) \quad \text{Éq. 27}$$

Finalement, la variable prédite \hat{I}_i sera introduite dans le paramètre d'échelle de l'équation 24. L'hypothèse 2 revient à tester par le coefficient structurel $\tau < 0$.

6.2. RÉSULTATS

Le tableau 16 résume les estimés du modèle logit de coefficients aléatoires (RPL) où le niveau de certitude et la non-considération des attributs ne sont pas contrôlés (colonne 1) et du modèle de paramètre d'échelle issu de l'équation 24 avec la fréquence de non-considération des attributs comme variable explicative de la variance des erreurs (colonne 3).

⁵⁵ Le modèle structurel est estimé par l'estimateur "Generalized Structural Equation Modeling Using Stata" (GSEM). Voir dans les annexes figure 49 pour plus de détails

Tableau 16: La non-considération des attributs dans le modèle de choix⁵⁶

	<u>RPL (M1)</u>		<u>Modèle non séquentiel(M2)</u>	
	Coef (1)	Erreur-type (2)	Coef (3)	Erreur-type (4)
ASC	0,042	(0,149)	0,117	(0,234)
Coût	-0,005***	(0,001)	-0,006***	(0,001)
Diversité intermédiaire	0,661***	(0,102)	1,021***	(0,194)
Diversité élevée	0,783***	(0,112)	1,223***	(0,228)
Dispersion intermédiaire	0,405***	(0,105)	0,615***	(0,173)
Dispersion élevée	0,381***	(0,131)	0,585***	(0,212)
Naturalité intacte	1,583***	(0,152)	2,444***	(0,358)
Naturalité semi	1,001***	(0,113)	1,521***	(0,238)
Absence de perturbation	0,812***	(0,082)	1,246***	(0,194)
Écart-type de la distribution des Coefficients	2,117***	(0,099)	3,113***	(0,346)
ASC				
Coût	0,007***	(0,002)	0,010***	(0,003)
Diversité intermédiaire	0,215**	(0,108)	0,179	(0,340)
Diversité élevée	0,206	(0,156)	0,387*	(0,227)
Dispersion intermédiaire	0,122	(0,106)	0,128	(0,163)
Dispersion élevée	0,340*	(0,201)	0,469	(0,375)
Naturalité intacte	1,396***	(0,116)	2,021***	(0,278)
Naturalité semi	0,744***	(0,097)	1,254***	(0,200)
Absence de perturbation	0,882***	(0,101)	1,401***	(0,211)
Paramètre d'échelle				
Non-considération des attributs			-0,249***	(0,060)
Observations	17964		17964	
Nbre de répondants	998		998	

Notes : Résultats tirés de l'équation 24.

Source : Fall (2020)

La colonne 1 montre que tous les attributs sont significatifs à 1% avec le signe attendu. En effet, la diversité, la dispersion, l'absence de perturbation et la naturalité

⁵⁶ Les erreurs-types en parenthèses sont robustes. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. La variable "Non-considération des attributs" est une variable catégorielle correspondant à (1) = toujours considéré (2) = souvent considéré (3) = rarement considère (4) = jamais considéré. Le modèle non séquentiel correspond au modèle de paramètre d'échelle dans lequel la non-considération sont les variables explicatives de la variance. Notre questionnaire est composé de 6 ensembles de choix. Dans ce cas, chaque individu est confronté à 3 alternatives dans chaque ensemble de choix (18 alternatives dans le questionnaire). Le nombre total d'observations correspond $18 \times 998 = 17964$ observations.

ont un effet positif sur l'utilité alors que le coût a un effet négatif. De plus, le choix du statu quo capté par la variable ASC n'est pas significatif. Dans la colonne 3, les coefficients des attributs restent significatifs à 1% sauf pour la variable ASC. Le coefficient τ devant la variable de la fréquence de non-considération des attributs dans le modèle à paramètre d'échelle est significatif et négatif comme préconisé dans l'hypothèse 2. En d'autres termes, les individus qui évaluent l'esthétique du paysage dans un cadre avec un nombre d'attributs restreints ont une variance des erreurs plus élevée par conséquent ils font plus de choix aléatoires (Campbell *et al.*, 2008 ; Kosenius, 2013 ; DeShazo et Fermo, 2004)

Le tableau 17 présente les résultats des modèle séquentiel ou structurel dans lequel la fréquence de non-considération des attributs est endogénéisée. Dans la première étape du modèle séquentiel dans la colonne (1) relative aux facteurs affectant la probabilité qu'un individu ne considère pas tous les attributs, nous constatons que le nombre d'années d'éducation (Sælensminde, 2006), le nombre de visites dans le site et la présence de photo réduisent cette probabilité. Cependant, la présence de photo et le nombre d'années d'éducation ne sont pas significatifs. Le revenu (Hensher *et al.*, 2005 ; Kosenius, 2013) et l'âge ont un effet positif mais non significatif sur la fréquence de non-considération des attributs. Lorsque nous nous intéressons à notre variable d'intérêt, nous montrons que la certitude a un effet négatif et significatif à 1% sur la probabilité de restreindre le nombre d'attributs dans le processus de décision. Ce résultat permet de comprendre le comportement des individus dans une situation d'incertitude en proposant un nouveau mécanisme dans le lequel les individus certains font moins d'erreurs dans les choix (Dekker *et al.*, 2016 ; Mattmann *et al.*, 2018). Dans la deuxième étape où la non-considération des attributs prédite est une variable explicative de la variance des erreurs, nos résultats restent robustes par rapport aux estimés du tableau 16. L'augmentation de la fréquence de non-considération des attributs est associée à une réduction de la précision des choix du répondant.

Tableau 17 ⁵⁷ : La non-considération des attributs dans les modèles de choix séquentiel et structurel

	Modèle séquentiel (M3)		Modèle structurel (M4)	
	Modèle 3		Modèle 4	
	Coef	Erreur-type	Coef	Erreur-type
	(1)	(2)	(3)	(4)
ASC	0,224	(0,222)	0,076	(0,166)
Coût	-0,006***	(0,002)	-0,005***	(0,001)
Diversité intermédiaire	0,901***	(0,186)	0,667***	(0,111)
Diversité élevée	1,159***	(0,243)	0,860***	(0,135)
Dispersion intermédiaire	0,523***	(0,161)	0,415***	(0,114)
Dispersion élevée	0,550***	(0,202)	0,403***	(0,149)
Naturalité intacte	2,347***	(0,441)	1,722***	(0,231)
Naturalité semi	1,443***	(0,284)	1,060***	(0,145)
Absence de perturbation	1,248***	(0,245)	0,908***	(0,114)
Paramètre d'échelle				
Non-considération des attributs	-0,297**	(0,125)	-0,318***	(0,089)
		Première étape	Modèle structurel	
Non-considération des attributs : probit ordonné				
Homme	0,133*	(0,077)	0,159	(0,099)
Nbre de visites	-0,014*	(0,008)	0,001	(0,014)
Age	0,003	(0,003)	0,007*	(0,004)
Nbre d'années d'éducation	-0,011	(0,011)	-0,024	(0,016)
Revenu (log)	0,028	(0,057)	0,059	(0,081)
Photo	-0,061	(0,089)	0,267	(0,224)
Certitude	-0,404***	(0,049)	-0,905*	(0,501)
			Modèle de mesure	
Certitude : probit ordonné				
Homme			0,007	(0,076))
Nbr de visites			0,025***	(0,009)
Age			0,005*	(0,003)
Nbr d'années d'éducation			-0,017	(0,012)
Revenu (log)			0,039	(0,052)
Photo			0,500***	(0,092))
Observations	17868		17964	

Source : Fall (2020)

La colonne 3 présente les estimés du modèle structurel dans lequel le niveau de certitude et la fréquence de non-considération des attributs sont endogènes. Dans la première étape, nous avons réalisé une estimation du niveau de certitude avec les variables sociodémographiques et la présence de photo dans les ensembles de choix.

⁵⁷Les erreur-types en parenthèses sont clustérisés un niveau individuel. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. La première étape dans le modèle structurel utilise un modèle de probit ordonné à effets fixes clustérisés au niveau individuel. Les écarts-types des coefficients ne sont pas affichés.

Nous montrons que l'âge, la photo et le nombre de visites augmentent la probabilité que l'individu soit certain. Par contre le revenu, le sexe et le nombre d'années d'éducation n'ont pas d'effet sur le niveau de certitude. Dans la deuxième étape, la certitude reste significative et négative sur la réduction de la probabilité de la non-considération des attributs. Dans la troisième étape, la fréquence de non-considération des attributs explique la différence de variance des erreurs entre les individus. Les modèles structurels et séquentiels sont des modèles de comportement permettant de comprendre les différents canaux expliquant le caractère aléatoire des réponses. En effet, le niveau de certitude réduit la probabilité de restreindre le nombre d'attributs (Payne *et al.*, 1993, Gigerenzer et Brighton, 2009) ce qui pourrait constituer la raison pour laquelle les individus certains fassent moins d'erreurs (Dekker *et al.*, 2016).

7. CRÉDIBILITÉ DES RÉPONSES CERTAINES SELON LA VARIABILITÉ DU NIVEAU DE CERTITUDE ET LA FRÉQUENCE DE NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS

Dans la section précédente, nous avons montré que la résolution de l'incertitude au travers un nombre plus restreint d'attributs dans l'évaluation de l'esthétique du paysage. Nous allons peaufiner notre analyse en nous intéressant sur la crédibilité des réponses certaines. Plus précisément, nous allons tester parmi les individus certains, existe-t-il une différence de précision des réponses selon la fréquence de non-considération des attributs ? Les individus certains qui ne considèrent pas tous les attributs font-ils moins de choix aléatoires que les individus incertains ? Pour répondre à ces différentes questions, nous allons tester l'hypothèse 4 c.-à-d. nous allons mettre en place une stratégie empirique où la non-considération des attributs et le niveau de certitude sont les variables explicatives de la variance des erreurs⁵⁸.

⁵⁸ Le modèle de paramètre d'échelle est le même que celui du modèle de l'équation 11 dans lequel la non-considération des attributs et le niveau de certitude sont inclues comme variables explicatives de la variance des erreurs.

Tableau 18: Effet du niveau de certitude et de la non-considération des attributs sur la précision des choix⁵⁹

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ASC	0,101 (0,089)	0,101 (0,121)	0,16 (0,171)	0,163 (0,16)	0,159 (0,164)	0,129 (0,113)	0,12 (0,108)
Coût	-0,003*** (0,001)	-0,003*** (0,001)	-0,005*** (0,001)	-0,004*** (0,001)	-0,004*** (0,001)	-0,003*** (0,001)	-0,003*** (0,001)
Diversité intermédiaire	0,366*** (0,093)	0,516*** (0,100)	0,688*** (0,170)	0,667*** (0,168)	0,682*** (0,172)	0,459*** (0,096)	0,458*** (0,094)
Diversité élevée	0,475*** (0,112)	0,644*** (0,118)	0,894*** (0,209)	0,859*** (0,203)	0,873*** (0,206)	0,598*** (0,115)	0,585*** (0,109)
Dispersion intermédiaire	0,213*** (0,073)	0,303*** (0,088)	0,396*** (0,134)	0,382*** (0,129)	0,393*** (0,133)	0,261*** (0,082)	0,262*** (0,084)
Dispersion élevée	0,221** (0,087)	0,308*** (0,106)	0,399** (0,160)	0,390** (0,154)	0,397** (0,156)	0,265** (0,104)	0,267*** (0,099)
Naturalité intacte	0,971*** (0,192)	1,282*** (0,199)	1,773*** (0,369)	1,704*** (0,357)	1,732*** (0,363)	1,208*** (0,193)	1,182*** (0,182)
Naturalité semi	0,593*** (0,128)	0,786*** (0,129)	1,081*** (0,238)	1,038*** (0,232)	1,056*** (0,236)	0,738*** (0,128)	0,721*** (0,121)
Absence de perturbation	0,520*** (0,103)	0,661*** (0,106)	0,941*** (0,201)	0,894*** (0,192)	0,907*** (0,195)	-0,651*** (0,104)	-0,624*** (0,097)
Paramètre d'échelle							
Considération attributs (NCH)		0,348*** (0,079)		0,331*** (0,081)	0,303*** (0,089)		0,341*** (0,08)
Certitude	0,183*** (0,058)	0,204* (0,119)					
Certitude moyenne			0,045 (0,200)	-0,011 (0,203)	-0,023 (0,204)		
$\sigma_{certitude}$			-0,833*** (0,238)	-0,761*** (0,241)	-0,853*** (0,273)		
$NCH * \sigma_{certitude}$					0,315 (0,438)		
Individu certain						0,406*** (0,130)	0,314** (0,132)
Individu hésitant	Réf	Réf	Réf	Réf	Réf	Réf	Réf
Individu incertain						0,288 (0,216)	0,268 (0,217)
Observations	17964	17964	17964	17964	17964	17964	17964

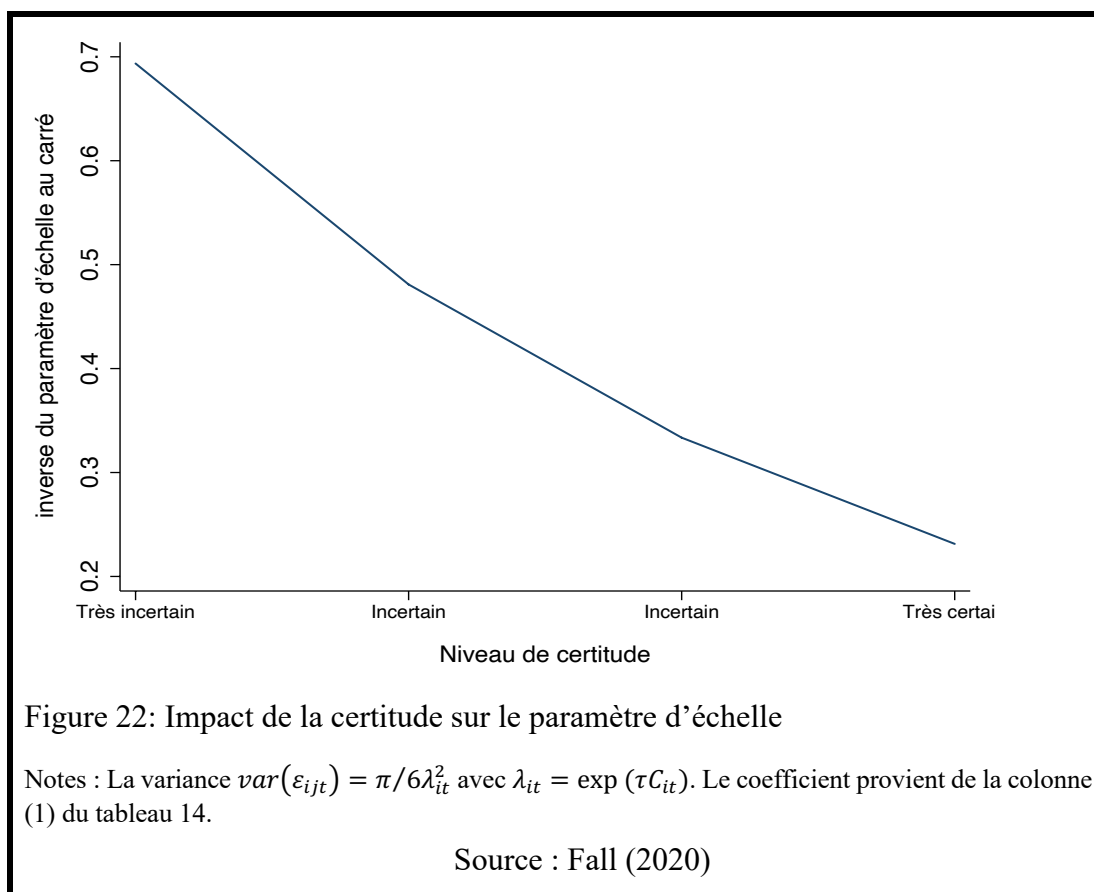
Source : Fall (2020)

Dans la colonne 1 du tableau 18, le niveau de certitude des réponses est directement dans le paramètre d'échelle comme variable explicative de la variance.

Le coefficient de la certitude est positif et significatif en d'autres termes, plus les réponses sont certaines moins l'individu fait des erreurs. Ce résultat est cohérent avec la littérature des choix expérimentaux sur l'incertitude (Regier *et al.*, 2019 ; Dekker *et*

⁵⁹Les erreur-types en parenthèses sont robustes. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < ,01$. La variable certitude est une variable binaire égale à 1 si le choix dans un ensemble de choix est certain ou très certain, sinon égal à zéro. Non-choix heuristiques est une variable binaire égale à 1 si l'individu a toujours considère tous les choix. $\sigma_{certitude}$ est la déviation standard de la certitude des choix dans les 6 ensemble de choix pour chaque individu. Individu certain, hésitant ou incertain sont des individus dont la moyenne de la certitude au niveau des 6 ensembles de choix est respectivement supérieur à 0,66, compris en 0,66 et 0,33 et inférieur à 0,33.

al., 2016 ; Lundhede *et al.*, 2009). La figure 22 retrace la relation entre l'inverse du paramètre d'échelle qui est une proportion de la variance des erreurs et le niveau de certitude des réponses. Elle nous montre que l'augmentation du niveau de certitude des réponses réduit la variance des erreurs.



Dans colonne 2 , nous avons ajoutons une variable muette égale à 1 si l'individu considère toujours les attributs (*NCH*) et 0 sinon. Le coefficient de la certitude dans le paramètre d'échelle reste significatif et positif, de même pour le coefficient devant la variable *NCH*. De ce fait, les individus certains sont plus précis que les individus incertains dans leur choix même en contrôlant pour la non-considération des attributs.

Dans la colonne 3, nous introduisons le niveau moyen de certitude et l'écart-type du niveau de certitude à travers les ensembles de choix afin de capter l'effet de la

variabilité des réponses certaines. Selon Brouwer *et al.* (2010), la variabilité du niveau de certitude à travers les ensembles de choix peut résulter d'un effet d'apprentissage. Par contre, Regier *et al.* (2019) montrent que la variabilité du niveau de certitude est corrélée avec le degré d'engagement du questionnaire. Nos résultats montrent que la variabilité du niveau de certitude des ensembles de choix affecte négativement la précision des réponses⁶⁰. Le niveau de certitude moyen n'est pas significatif. Ce résultat ne change pas lorsque nous contrôlons pour la non-considération des attributs dans la spécification (colonne 4) et pour l'interaction entre la non-considération des attributs et la variabilité de la certitude (colonne 5).

Dans la colonne 6, nous avons introduit pour des objectifs de robustesse, trois variables capturant le statut de certitude de l'individu (individu certain, incertain et hésitant). La colonne 6 montre en prenant les individus hésitants comme référence, les individus certains font des choix plus précis que les individus hésitants et les individus incertains. Ce résultat est robuste si nous ajoutons la non-considération des attributs dans le paramètre d'échelle dans la colonne 7.

En résumé, le tableau 18 montre que les individus certains font moins d'erreurs même si nous contrôlons pour la non-considération des attributs et si nous changeons la mesure du niveau de certitude. Nous trouvons aussi que la variabilité du niveau de certitude dans les ensembles de choix affecte négativement la précision des choix du répondant. Il est intéressant de connaître la précision des réponses pour les individus certains selon le niveau de non-considération des attributs. Plus précisément, nous allons tester si les individus certains font moins d'erreurs même s'ils ne considèrent pas les attributs par rapport aux individus incertains.

⁶⁰ Ce résultat est différent de celui de Regier *et al.* (2019) pour deux raisons. Le niveau de certitude est une variable catégorielle avec 4 niveaux. Par conséquent, nous avons moins de variabilité du niveau de certitude entre les ensembles de choix. La deuxième raison est liée au niveau élevé de réponses très certaines de notre échantillon. Cela pourrait traduire d'un faible niveau d'apprentissage à travers les ensembles de choix.

Soit la fonction d'utilité suivante :

$$U_{ijt} = \exp\{\tau_1 NCH^{Certain} + \tau_2 CH^{Certain} + \tau_3 NCH^{Hésitant} + \tau_4 CH^{Hésitant} + \tau_5 NCH^{Incertain} + \tau_6 CH^{Incertain}\} \{\beta_i X_{ijt} + \varepsilon_{ijt}\} \quad \text{Éq. 28}$$

Avec $NCH^{Certain}$ ($NCH^{Incertain}$) est une variable muette égale à 1 si l'individu est certain (incertain) et considère toujours les attributs et 0 sinon. $CH^{Certain}$ ($CH^{Incertain}$) est une variable muette égale à 1 si l'individu est certain (incertain) mais ne considère pas souvent les attributs. $NCH^{Hésitant}$ ($CH^{Hésitant}$) est une variable muette égale 1 si l'individu est hésitant mais (ne) considère (pas) toujours les attributs. Nous allons tester l'hypothèse 4 c.-à-d. le niveau de précision des ensembles de choix est conditionnel au niveau de certitude et à la restriction du nombre d'attributs considérés en prenant comme référence les individus hésitants qui ne considère pas toujours les attributs⁶¹.

Nous allons tester les hypothèses suivantes :

- Hypothèse a : $\tau_1 > 0$ et $\tau_2 > 0 \Rightarrow$ les individus certains font moins de choix aléatoires quelle que soit la fréquence de considération des attributs.
- Hypothèse b : $\tau_3 > 0 \Rightarrow$ les individus hésitants font moins de choix aléatoires.
- Hypothèse c : $\tau_5 < 0$ et $\tau_6 < 0 \Rightarrow$ les individus incertains font plus de choix aléatoires quel que soit la fréquence de non-considération des attributs.

Si nous obtenons les signes attendus, alors la non-considération des attributs n'ont pas d'effet sur la précision des choix à l'intérieur de chaque groupe d'individus selon le niveau de certitude. La non-considération des attributs expliqueraient uniquement la précision des réponses entre les groupes de certitude comme dans l'hypothèse 3.

⁶¹ τ_4 n'est pas affiché dans le tableau d'estimation puisque les individus hésitants qui ne considère pas souvent les attributs sont définis comme catégorie de référence

Tableau 19: Précision des réponses certaines selon la fréquence de non-considération des attributs

	Modèle 10	
	Coef (1)	Écart-type (2)
ASC	0,086	(0,116)
Coût	-0,003***	(0,001)
Diversité élevée	0,613***	(0,142)
Diversité intermédiaire	0,488***	(0,122)
Dispersion intermédiaire	0,273***	(0,095)
Dispersion élevée	0,220**	(0,109)
Naturalité intacte	1,193***	(0,251)
Naturalité semi	0,783***	(0,171)
Absence de perturbation	-0,672***	(0,141)
Écart-type de la distribution des coefficients		
ASC	1,581***	(0,302)
Diversité élevée	0,002	(0,091)
Diversité intermédiaire	0,210**	(0,085)
Dispersion intermédiaire	0,044	(0,061)
Dispersion élevée	0,022	(0,098)
Naturalité intacte	1,209***	(0,241)
Naturalité semi	0,826***	(0,168)
Absence de perturbation	0,488***	(0,119)
Coût	0,003***	(0,001)
Paramètre d'échelle		
Individu certain avec considération des attributs	0,601***	(0,202)
Individu certain sans considération des attributs	0,212	(0,197)
Individu hésitant avec considération des attributs	1,410***	(0,421)
Individu incertain sans considération des attributs	-0,221	(0,637)
Individu incertain avec considération des attributs	0,450	(0,285)
Observations	17964	

Sources : Résultats⁶² tirés de l'équation 28 .

Source : Fall (2020)

⁶²Les erreurs-types en parenthèses sont robustes. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Individu certain, hésitant ou incertain sont des individus dont la moyenne de la certitude au niveau des 6 ensembles de choix est respectivement supérieur à 0,66, compris en 0,66 et 0,33 et inférieur à 0,33. La variable Individu hésitant sans considération des attributs est la référence dans le paramètre d'échelle.

Le tableau 19 retrace l'impact de la certitude selon la restriction du nombre d'attributs sur la précision des choix du répondant. Nos résultats montrent que les individus certains et les individus hésitants qui ont toujours considéré les attributs font les moins d'erreurs. Si l'individu est certain et ne considère pas toujours les attributs, la précision de ces choix n'est pas significativement différente de l'individu incertain.

Le tableau 19 met en lumière la question sur la crédibilité des réponses certaines. En effet, nous observons une anomalie par l'adoption de la stratégie de non-considération des attributs par les individus certains. Dans ce cas, nous pouvons s'interroger sur le degré d'engagement ou sur la crédibilité de l'auto-évaluation du niveau de certitude par le répondant. Notre étude montre que l'analyse de l'effet de l'incertitude sur la décision dépend de la restriction des attributs par l'individu. De ce fait, la valeur informationnelle des réponses de l'individu dépend du niveau de certitude de l'individu et de la fréquence de non-considération des attributs.

8. IMPACT DE LA CERTITUDE SUR LE DEGRÉ DE PRÉCISION DES RÉPONSES SELON LA RAISON DE LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS

La raison pour laquelle l'individu ne considère que certains attributs dans l'évaluation du paysage pourraient influencer la probabilité pour que cet individu fasse des erreurs. En effet, Alemu *et al.* (2013) montrent que l'impact de la non-considération des attributs est différent selon les raisons de l'ignorance des attributs. Nous testons l'impact des raisons de la non-considération des attributs sur la précision des choix des individus selon le niveau de certitude (hypothèse 4). Nous nous sommes basés sur une analyse en sous-échantillon où chacun des sous-échantillons inclut les individus selon la raison de la non-considération des attributs dans le but de tester l'impact de la certitude dans la précision des choix du répondant. Nous estimons l'équation suivante :

$$U_{ijt}^* = \lambda_i V_{ijt} + \lambda_i \varepsilon_{ijt} = \exp(\tau^k C_{it})(\beta_i X_{ijt} + \varepsilon_{ijt}) \quad \text{Éq. 29}$$

Avec $k=11, 12, \dots, 15$, les sous-échantillons des modèles suivants :

Le modèle M11 est estimé dans le sous-échantillon de référence ne comprenant aucun individu qui n'ont pas considéré les attributs.

- Dans les modèles M12, M13, M14 et M15 nous ajoutons du sous-échantillon de référence M11, les individus qui n'ont pas considéré souvent les attributs parce qu'il respectivement considèrent les attributs mal définis, les ensembles de choix complexes, le questionnaire trop long (ou manque de concentration et fatigue) et les préférences lexicographiques.

Soit $\exp(\tau^k C_{it})$ le paramètre d'échelle avec le niveau de certitude de l'individu i dans l'ensemble de choix t , (C_{it}) le niveau de certitude comme variable explicative de l'hétérogénéité de la variance dans le modèle k .

Nous testons si $\tau^{11} = \tau^k$ avec $k = 12, 13, 14, 15$ avec comme hypothèses :

- $\tau^{11} = \tau^k \Rightarrow$ la fréquence et les raisons de non-considération des attributs n'ont aucune influence sur la précision des choix entre les individus certains et incertains
- $\tau^{11} < \tau^k \Rightarrow$ la fréquence et les raisons de non-considération des attributs augmentent l'écart des précisions des choix entre les individus certains ou les individus incertains. En d'autres termes, les individus incertains font plus d'erreurs lorsque nous ajoutons de l'échantillon de référence les individus qui ne considèrent pas tous les attributs.

Dans la colonne 1 du tableau 20, nous avons inclus uniquement les individus qui ont toujours considéré les attributs dans le modèle (échantillon de référence).

Tableau 20: Impact de la certitude sur la cohérence des choix selon les raisons de la non-considération des attributs

	Considération des attributs		Non-considération des attributs							
	Modèle 11		Modèle 12		Modèle 13		Modèle 14		Modèle 15	
			Attributs mal défini		Complexité		Charge cognitives		Préférences lexicographiques	
	Coef (1)	E-T (2)	Coef (3)	E-T (4)	Coef (5)	E-T (6)	Coef (7)	E-T (8)	Coef (9)	E-T (10)
ASC	0,047	(0,205)	0,104	(0,132)	0,231*	(0,134)	0,163	(0,134)	0,05	(0,164)
Coût	-0,001	(0,001)	-0,001	(0,001)	-0,002**	(0,001)	-0,002*	(0,001)	-0,002*	(0,001)
Diversité intermédiaire	0,647**	(0,255)	0,448***	(0,172)	0,417***	(0,138)	0,369***	(0,136)	0,486***	(0,163)
Diversité élevée	0,627**	(0,259)	0,503***	(0,193)	0,591***	(0,184)	0,411***	(0,153)	0,475***	(0,172)
Dispersion intermédiaire	0,451**	(0,202)	0,289**	(0,131)	0,232**	(0,100)	0,209**	(0,103)	0,359**	(0,142)
Dispersion élevée	0,386*	(0,212)	0,273*	(0,146)	0,239**	(0,117)	0,202	(0,125)	0,320*	(0,165)
Naturalité intacte	1,322***	(0,472)	0,944***	(0,331)	1,194***	(0,346)	0,861***	(0,277)	1,235***	(0,347)
Naturalité semi	0,924***	(0,342)	0,649***	(0,229)	0,689***	(0,204)	0,631***	(0,201)	0,846***	(0,246)
Absence de perturbation	0,585***	(0,218)	0,379***	(0,141)	0,638***	(0,184)	0,399***	(0,133)	0,618***	(0,180)
Écart-type de la distribution des coefficients										
ASC	1,678***	(0,574)	1,091***	(0,348)	1,390***	(0,388)	1,116***	(0,323)	1,686***	(0,426)
Coût	0,008**	(0,003)	0,002	(0,001)	0,004**	(0,001)	0,004**	(0,002)	0,006***	(0,002)
Diversité intermédiaire	0,08	(0,164)	0,150	(0,104)	0,068	(0,085)	0,088	(0,092)	0,172	(0,120)
Diversité élevée	0,018	(0,174)	0,043	(0,135)	0,011	(0,113)	0,002	(0,119)	0,250**	(0,120)
Dispersion intermédiaire	0,017	(0,146)	-0,083	(0,084)	0,063	(0,082)	0,003	(0,081)	0,057	(0,121)
Dispersion élevée	0,11	(0,221)	0,007	(0,108)	0,248**	(0,099)	0,280**	(0,122)	0,389*	(0,209)
Naturalité intacte	1,420***	(0,470)	1,054***	(0,346)	0,609***	(0,183)	0,857***	(0,279)	1,256***	(0,319)
Naturalité semi	0,946***	(0,328)	0,721***	(0,230)	0,602***	(0,182)	0,367***	(0,142)	0,665***	(0,224)
Absence de perturbation	0,867***	(0,291)	0,618***	(0,198)	0,566***	(0,168)	0,635***	(0,195)	0,816***	(0,215)
Paramètre d'échelle										
Certitude	0,105	(0,090)	0,212**	(0,086)	0,187**	(0,080)	0,217**	(0,091)	0,098	(0,067)
Moyenne de certitude	3,522		3,218		3,221		2,989		3,161	
Diff avec moyenne certitude échantillon total	0,210***	(0,008)	-0,093***	(0,021)	-	(0,009)	-	(0,022)	-	(0,014)
Observations	6954		7806		12414		8343		9486	

Notes : Résultats⁶³ tirés de l'équation 29.

Source : Fall (2020)

La colonne 1 montre que le coefficient de la certitude dans le paramètre d'échelle est positif, mais non significatif. En d'autres termes, nous ne trouvons pas de différence significative dans la précision des choix des répondants entre les individus certains dans un cadre où tous les attributs sont considérés par les répondants. Lorsque nous regardons la moyenne de certitude dans ce sous-échantillon, elle est significativement plus élevée par rapport à celle de l'échantillon total. Ce résultat s'explique par le fait que les individus certains sont moins probables de restreindre le nombre d'attributs.

⁶³ Les erreurs-types en parenthèses sont robustes. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Dans chaque modèle, l'échantillon inclut aussi les individus qui ont considéré tous les attributs. La moyenne de certitude de l'échantillon total est de **3.312**. E-T est l'erreur type.

Dans la colonne 3, nous ajoutons de l'échantillon de référence, les individus qui n'ont pas considéré tous les attributs parce qu'ils sont mal définis⁶⁴ (Mousavi et Gigerenzer, 2017). Nous trouvons que le coefficient de la certitude dans le paramètre d'échelle devient significatif et positif. Les individus les plus certains font moins d'erreurs que les individus incertains. La mauvaise information sur la définition de l'attribut réduit la précision des réponses surtout pour les individus incertains.

Dans la colonne 5, nous avons ajouté à partir de l'échantillon de référence, les individus qui n'ont pas considéré tous les attributs à cause de la complexité à des ensembles de choix (Payne *et al.*, 1993 ; Gigerenzer et Brighton, 2009). Nos résultats montrent que la complexité réduit le niveau de précision des réponses pour les individus incertains par rapport aux individus certains.

Dans la colonne 7, nous avons testé l'impact de l'engagement dans le questionnaire sur la certitude et la précision des choix. Nous avons ajouté de l'échantillon de référence les individus qui n'ont pas considéré tous les attributs parce qu'ils manquent de concentration ou sont fatigués. La colonne 7 montre que les individus certains sont plus précis que les individus incertains car suivant l'article de Regier *et al.* (2019), les individus sont plus engagés ou plus concentrés dans le questionnaire par rapport aux individus incertains ce qui pourrait expliquer la différence de précision dans les choix et la forte baisse de la moyenne de certitude par rapport à l'échantillon total.

La colonne 9 montre que si les préférences lexicographiques sont prises en compte dans l'échantillon de base, le niveau de certitude n'a pas d'impact sur la précision des choix. Ce résultat est cohérent avec l'étude de Martignon et Hoffrage (2002) montrant que la stratégie lexicographique est cohérente et robuste en présence d'incertitude.

⁶⁴ Cet aspect de la non-considération des attributs est lié à littérature de l'effet des informations et des connaissances limitées sur l'incertitude

En résumé, la précision des individus certains ou incertains dépend de la fréquence et de la raison de la non-considération des attributs. En effet, nous avons montré en considérant tous les attributs, nous ne trouvons pas différence significative entre dans la précision des réponses entre les individus certains et incertains. Par contre, nous notons une baisse du niveau de certitude moyenne et de la précision des individus certains quand les individus sont fatigués ou manquent de concentration. Lorsque les préférences sont lexicographiques, la non-considération des attributs n'ont pas d'impact sur la précision des choix entre les individus certains et incertains.

9. IMPACT DE LA CERTITUDE SUR LA VAP

Après avoir montré que la précision des choix est corrélée avec la variabilité des réponses certaines, le niveau de certitude des répondants et la fréquence de non-considération des attributs, nous allons définir un modèle où la pondération des réponses dépend de ces facteurs. En effet, Li et Mattsson (1995) associent les réponses incertaines à des bruits dont la valeur informationnelle est faible. Par conséquent, la présence de réponses incertaines nous fait dévier de la "vraie" VAP. Suivant la méthode de Regier *et al.*, (2019), notre objectif est de pondérer les réponses en minimisant le poids empirique des réponses incertaines, de la non-considération des attributs et la variabilité des réponses dans le calcul de la VAP. De ce fait, nous proposons une nouvelle stratégie de calcul de VAP dans un modèle pondéré de logit à coefficients aléatoires (RPL pondéré) où le poids est calculé comme suit :

$$poids_i^{(1)} = \frac{1}{1 + \sigma_{certitude}} * NI_i * \overline{C_{it}}$$

avec $\sigma_{certitude}$ l'écart-type des réponses certaines à travers les ensembles de choix, NI_i est égale à (1) si l'individu ne considère jamais les attributs (2) considère rarement (3) considère souvent (4) considère toujours. $\overline{C_{it}}$ est le niveau de certitude moyen de

l'individu. Ce poids⁶⁵ empirique est décroissant avec la variabilité des réponses certaines et la fréquence de non-considération⁶⁶ des attributs et croissant avec le niveau de certitude.

L'originalité de notre travail est reconsidérée que même parmi les individus certains de leur réponse, la valeur informative ou crédibilité de leurs réponses dépendent de la fréquence de non-considération des attributs et de la variabilité des réponses certaines.

Le tableau 21 montre les résultats de la VAP entre les modèles RPL où le niveau de certitude n'est pas pris en compte, le modèle de paramètre d'échelle dont la non-considération des attributs est exogène⁶⁷ (modèle 2), le modèle de paramètre d'échelle dont la non-considération des attributs est endogène (modèle 3), le modèle de paramètre d'échelle dont la non-considération des attributs et le niveau de certitude sont endogènes (modèle structurel) et le modèle 16 qui représente notre modèle pondéré (RPL pondéré).

Les colonnes 3, 5 et 7 montrent les variations de la VAP des attributs respectivement pour les modèles 2, 3, 4 relativement au modèle de RPL. À travers les trois modèles, la VAP de la naturalité semi augmente de 35,59% à 75,76% relativement au modèle RPL.

⁶⁵ Dans la fonction de maximum de vraisemblance de modèle RPL nous considérons le poids défini de la manière suivante : $\overline{poids_i^{(1)}} = poids_i^{(1)} / \sum_i^N poids_i^{(1)}$

⁶⁶ Hypothèse cohérente avec la notion de rationalité passive c.-à-d. l'utilité marginale des attributs non considérés n'est pas nulle, mais plus petite (Caputo *et al.*, 2016)

⁶⁷ Modèle non séquentiel

Tableau 21 : Volonté à payer⁶⁸ pour l'amélioration de l'esthétique du paysage (différence par rapport au modèle de base)

	RPL (M1)		Modèle non séquentiel (M2)		Modèle séquentiel (M3)		Modèle structurel (M4)		Modèle pondéré (M16)	
	Valeur	% de variation	Valeur	% de variation	Valeur	% de variation	Valeur	% de variation	Valeur	% de variation
	Coef (1)	E-T (2)	Coef (3)	E-T (4)	Coef (5)	E-T (6)	Coef (7)	E-T (8)	Coef (9)	E-T (10)
Diversité intermédiaire	182,230*** (22,237)	réf	217,105*** (9,841)	19,00%	154,608*** (13,500)	-15,15%	177,287*** (18,605)	-2,71%	121,494*** (11,142)	-33,32%
Diversité élevée	234,581*** (29,083)	réf	258,018*** (11,641)	9,99%	214,961** (17,132)	-8,36%	230,313*** (18,605)	-1,81%	144,934** (16,856)	-38,21%
Dispersion intermédiaire	123,063*** (15,000)	réf	132,005*** (6,229)	7,26%	93,792*** (7,838)	-23,78%	111,680*** (23,299)	-9,24%	72,176*** (9,036)	-41,35%
Dispersion élevée	99,430*** (16,565)	réf	127,289*** (6,867)	28,01%	102,530*** (8,378)	3,12%	124,460*** (10,828)	25,17%	69,153*** (3,499)	-30,45%
Naturalité intacte	360,279*** (62,687)	réf	614,548*** (14,490)	70,57%	311,820** (49,813)	-13,45%	414,585*** (11,143)	15,07%	358,229** (39,522)	-0,56%
Naturalité semi	166,457*** (28,477)	réf	292,570*** (16,990)	75,76%	296,762** (14,325)	78,28%	225,703*** (29,356)	35,59%	173,997** (29,873)	4,25%
Absence de perturbation	362,836*** (47,365)	réf	287,095*** (10,648)	-20,87%	233,648** (13,975)	-35,60%	223,966*** (26,930)	-38,27%	67,088* (-35,603)	-90,48%
Observations	17964		17868		17964		17964		17868	

Notes : Les VAP sont calculées en utilisant les coefficients des attributs de la colonne (1) tableau 16 pour le modèle 1, de la colonne (3) du tableau 15 pour le modèle 2, de la colonne (1) du tableau 17 pour le modèle 3, de la colonne (3) et pour le modèle 4. Le modèle 16 représente les résultats de la VAP pour le modèle de RPL pondéré.

Source : Fall (2020)

La variation de la VAP de la naturalité intacte se situe entre +13,45% pour le modèle 3 à +70,57% pour le modèle 2. La variation de la VAP sur l'absence de perturbation est positive pour tous les modèles (20,87% à 38,273%). La variation de la VAP pour la diversité intermédiaire, la diversité élevée et la dispersion intermédiaire sont négatives pour les modèles 3 et 4, alors qu'elle est positive pour le modèle 2. Par contre la variation de la dispersion élevée est positive pour les modèles 3 et 4.

Notre modèle d'intérêt est celui du modèle pondéré de logit à coefficients aléatoires (modèle M16). Dans ce modèle, nous réduisons le poids dans le maximum de vraisemblance d'un modèle de RPL, de l'impact de la fréquence de non-considération des attributs, de la réponse des individus incertains et de la variabilité des réponses

⁶⁸Les erreurs-types en parenthèses sont robustes. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Les % de variations sont relatifs au modèle de base. Le taux de variation de la VAP est calculé par rapport au modèle RPL (M1). E-T représente les écart-type.

certaines dans les ensembles de choix. La colonne 9 montre la variation des VAP des attributs de l'esthétique du paysage issue du modèle pondéré par rapport au modèle de RPL non pondéré. Nous constatons une variation négative des VAP pour la diversité intermédiaire (-33,32%), diversité élevée (-38,2%), dispersion intermédiaire (-41,35%), dispersion élevée (-30,45%). La plus forte diminution de la VAP est observée pour l'absence de perturbation (-90,48%). Par contre, la variation de la VAP est très faible pour la naturalité intacte (-0,56%) et pour la naturalité semi (+4,25%). Ces résultats sont cohérents avec la notion de rationalité passive où les utilités marginales des attributs ignorés ne sont pas nulles, mais réduites (Caputo *et al.*, 2016). Dans le modèle de logit à coefficients aléatoires, nous constatons que les VAP des attributs comme la dispersion, diversité et l'absence de perturbation est surestimées parce ce sont les attributs les moins considérés dans les ensembles de choix. Par contre, les VAP de la naturalité intacte et de la naturalité semi sont proche de la valeur du modèle pondéré, car ce sont les attributs les plus considérés dans le questionnaire.

10. CONCLUSION

La prise en compte de l'incertitude dans les modèles de choix discrets est importante afin d'obtenir les VAP les moins biaisées. En effet, les réponses incertaines représentent une faible valeur informationnelle dans le calcul de la VAP. Ainsi, l'intégration de l'incertitude dans les modèles de choix expérimentaux nécessite de mieux comprendre le processus de décision de l'individu. Dans ce chapitre, nous avons proposé un modèle permettant de combiner la non-considération des attributs et le niveau de certitude dans le processus de décision. Nos résultats montrent que la plupart des individus certains font moins de choix aléatoires parce qu'ils considèrent le plus souvent tous les attributs dans les ensembles de choix. De plus, nous avons trouvé la précision des choix dépend simultanément de la non-considération des attributs et du niveau de certitude.

En effet, notre étude montre qu'il n'y a pas de différence significative dans la précision des choix entre les individus incertains et certains si ces derniers ne considèrent pas tous les attributs. En prenant en compte ces résultats, nous avons évalué la VAP de l'esthétique du paysage en réduisant le poids des individus incertains et ceux qui n'ont pas considéré tous les attributs dans notre stratégie empirique. Nous avons trouvé que les VAP sont fortement surestimées dans les modèles qui ne contrôlent pas pour l'incertitude et la non-considération des attributs.

Ce chapitre a permis de montrer le mécanisme jusque-là inexploré dans la littérature de la restriction du nombre d'attributs dans la littérature de l'incertitude. Lorsque les attributs sont mal-définis, les ensembles de choix complexes, le questionnaire trop long ou que l'individu manque de concentration, ce chapitre nous montre que la considération seule de l'incertitude ne sera pas suffisante pour comprendre la précision des choix du répondant. Il faudrait aussi tenir compte dans notre stratégie empirique de la non-considération des attributs pour obtenir des VAP non biaisées. La recommandation de notre étude est d'inciter leur chercheur à réduire la probabilité que l'individu ignore les attributs en définissant correctement les attributs, en rendant moins complexes les ensembles de choix et en écourtant la longueur du questionnaire.

QUATRIÈME CHAPITRE : EFFETS DES PHOTOS SUR LES PRÉFÉRENCES DE L'ESTHÉTIQUE DU PAYSAGE ET SUR LA PERCEPTION DE LA COMPLEXITÉ DANS UN MODÈLE DE CHOIX EXPÉRIMENTAUX

1. INTRODUCTION

Dans la méthode des choix expérimentaux, les répondants doivent considérer plusieurs alternatives et attributs par ensemble de choix pour choisir la meilleure alternative. De plus, pour assurer la précision du modèle, le chercheur est parfois amené à inclure un large nombre d'ensembles de choix. L'hypothèse standard d'un modèle à choix discret est que l'individu maximise son utilité, quel que soit le niveau de complexité des ensembles de choix en tenant compte de toute l'information disponible. Cependant, dans la réalité, le répondant peut être limité par sa capacité cognitive pour interpréter toute l'information lorsque les ensembles de choix sont complexes. Plusieurs études ont testé l'effet de la complexité des ensembles de choix sur le comportement de l'individu. DeShazo et Fermo (2002) étudient la complexité dans un modèle de choix expérimentaux et trouvent que si le nombre d'attributs et le nombre d'alternatives augmentent, les individus ont tendance à faire des choix incohérents. Dellaert *et al.* (2012) montrent que l'augmentation du nombre d'alternatives et d'attributs pousse l'individu à faire des erreurs, mais aussi affecte la VAP. DeShazo et Fermo (2004) expliquent l'effet du nombre d'attributs sur la cohérence des choix par l'ignorance volontaire d'une partie des attributs en réponse aux limites cognitives du répondant.

En nous basant sur l'enquête du paysage sur 998 individus au Québec, notre étude permet de mesurer l'effet des variables sociodémographiques (l'âge, le sexe, le niveau d'éducation et le revenu) et les caractéristiques des ensembles et plus particulièrement les photos sur la perception de la complexité. En effet, Hurtubia *et al.* (2015) montrent que la photo permet de réduire la complexité du questionnaire dans la mesure où les scénarios sont décrits par des photos. Par conséquent, le mécanisme de

décision sera plus rapide et efficient. Notre stratégie empirique permet de contrôler et d'identifier les facteurs qui étaient inobservables pour le chercheur, mais affectant la perception de la complexité.

Par capter la perception de complexité, nous nous sommes basés sur l'article de DeShazo et Fermo (2004) qui montrent que l'individu ne considère pas tous les attributs en préférence d'ensembles de choix complexes. De ce fait, nous avons demandé des questions supplémentaires après les ensembles de choix pour identifier les individus qui ont ignoré certains attributs et ensuite les raisons de ce comportement parmi lesquelles la complexité des ensembles de choix.

Dans le cadre de l'évaluation de l'esthétique du paysage, notre stratégie empirique consiste à estimer dans un premier temps, avec un modèle probit, la probabilité que la perception de l'individu sur un ensemble de choix soit influencée par variables sociodémographiques et la photo. Puis dans un deuxième temps, en utilisant un modèle paramètre d'échelle à variance du terme d'erreur hétérogène, nous avons testé les effets de la perception de la complexité sur la cohérence des choix en distinguant les échantillons sans photo, avec photo en été et photo en automne. Ce chapitre est lié au précédent dans la mesure où la précision des choix est relative à la réduction de la non-considération des attributs. Nous avons identifié la complexité comme une des raisons pour laquelle les individus ne considèrent pas tous les attributs. Cette étude permet de trouver des facteurs influençant la perception de la complexité afin d'améliorer la structure du questionnaire.

Nous avons trouvé que le nombre d'années d'éducation, le nombre de visites dans la zone d'étude et la photo réduisent sur la complexité perçue par les répondants. Par contre, le genre masculin, le revenu l'augmentent. De plus, les individus disant que le questionnaire est complexe sont plus incohérents dans leur choix en d'autres termes font plus d'erreurs. La précision des choix est améliorée lorsque le paysage est illustré par des photos en particulier lorsque nous considérons les photos prises en automne.

La contribution de notre étude est importante. Contrairement à la littérature précédente qui calcule la complexité par rapport aux structures des ensembles de choix, nous avons établi des questions de suivi sur la perception subjective de la complexité. Cette stratégie a permis d'analyser les déterminants, qui étaient inobservables, de la complexité et de leurs effets sur la VAP et la cohérence des choix. Le reste de notre chapitre est composé de la manière suivante : la première partie est consacrée à la revue de littérature, dans la deuxième partie, nous allons étudier les facteurs affectant la probabilité de complexité, la troisième partie est consacrée l'effet de la complexité sur la cohérence des choix, enfin nous la conclure dans dernière partie.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

2.1. LA COMPLEXITE DANS LES CHOIX EXPÉRIMENTAUX

Les modèles classiques de choix assument que individus ont des capacités de traiter l'information illimitée qui leur permettent de faire des choix optimaux quel que soit le niveau de complexité des ensembles de choix (De Palma *et al.*, 1994). Cependant, l'individu est confronté à des limites cognitives réduisant sa capacité à traiter une grosse quantité d'information. Swait et Adamowicz (2001) considèrent que les capacités de traiter la complexité sont différentes entre les individus. Toutefois, les photos pourraient réduire le coût cognitif pour l'individu de faire un choix. En effet, certains individus auraient du mal à représenter mentalement les changements des attributs en même temps.

La littérature documente la relation entre la complexité des ensembles de choix et la cohérence des choix ou la capacité des individus à faire le moins d'erreurs possible. Dans les modèles de jugement ou de rationalité limitée (Gabaix et Laibson, 2005 ; Cameron et DeShazo, 2004) (rationalité adaptative), l'individu reconnaît ses limites cognitives et décide de se concentrer sur un nombre limité d'attributs pour faire

son choix. Danthurebandara *et al.* (2015) proposent un modèle logit à coefficients aléatoires (RPL) hétérocesdastique dans lequel le paramètre d'échelle dépend de la complexité pour expliquer les différences de variance du terme d'erreur entre les individus. Ils montrent que la variance est plus élevée lorsque la complexité est plus élevée ce qui rend les choix incohérents.

D'autres auteurs mesurent la complexité en modifiant le design du questionnaire et la structure de l'information. DeShazo et Fermo (2002) étudient la complexité dans le cadre l'évaluation économique d'un nouveau parc national au Costa Rica et Guatemala. Dans la configuration de l'enquête, ils calculent l'impact de la complexité en modifiant la structure des ensembles de choix (nombre d'attributs par alternative, nombre d'alternatives) et en changeant la structure de l'information (moyenne de l'écart-type au niveau des attributs et dispersion de l'écart-type dans chaque alternative). Ils trouvent que les individus confrontés à des ensembles de choix plus complexes font des choix incohérents. DeShazo et Fermo (2004) montrent que les individus se focalisent sur un nombre limité d'attributs lorsque les ensembles de choix sont complexes (rationalité limitée). Ce qui pourrait expliquer l'incohérence des choix dans un environnement complexe. Dellaert *et al.* (2012) explorent la complexité en modifiant le nombre d'alternatives, le nombre d'attributs et la similarité de l'utilité entre les alternatives les plus attractives. Leurs résultats montrent que la complexité affecte non seulement les erreurs dans les choix, mais aussi les préférences. Meyerhoff *et al.* (2015) étudient les interactions entre la complexité (nombres d'ensembles de choix, alternatives, attributs et l'intervalle des niveaux des attributs) et les variables sociodémographiques dans le paramètre d'échelle. Ils trouvent que la cohérence de l'individu est négativement affecté l'âge, le genre masculin et positivement par le niveau de scolarité. Hensher (2004) explorent l'influence des dimensions des ensembles de choix dans le contexte de limitation du temps de transport à Sydney. Ils mesurent la complexité en changeant le nombre d'ensembles de choix, d'alternatives par ensemble de choix et l'intervalle des niveaux des ensembles de choix. En faisant l'interaction avec les mesures de la complexité et les paramètres du modèle logit à

coefficients aléatoires (RPL), ils trouvent que la VAP moyenne associée des structures complexes sont plus élevées.

2.2. LIEN ENTRE COMPLEXITÉ ET PHOTO

Les images permettent de décrire graphiquement les scénarios et pourraient réduire la complexité des cartes de choix par rapport aux descriptions des scénarios basés uniquement sur un texte. Cependant, l'effet des photos sur la complexité et sur la VAP n'est pas clairement établi dans la littérature. En effet, Torres *et al.* (2013) utilisent des images pour décrire la qualité des infrastructures urbaines dans un modèle de choix discret. Ils montrent que malgré les avantages des photos, elles sont loin de décrire de manière réaliste les scénarios à cause du manque de volume, de texture, de température et de son. Hurtubia *et al.* (2015) testent l'impact des images dans un modèle de classe latente dans un contexte d'évaluation de milieu urbain. Ils montrent que les images pourraient induire un biais dans la perception de la magnitude des attributs. Veldwijk *et al.* (2015) montrent que les graphiques n'améliorent pas la compréhension des individus sur les attributs et trouvent que les textes tendent à améliorer la cohérence des choix. Par contre d'autres auteurs trouvent un effet positif des images dans les modèles de choix discrets. Patterson *et al.* (2017) comparent un modèle où les ensembles de choix sont représentés par des images et un autre où les ensembles de choix sont décrits en texte. Les auteurs concluent que les modèles avec des images sont meilleurs si la représentation graphique procure une description précise des scénarios. He et Gao (2015) trouvent que la VAP est moins élevée dans le modèle de choix discret avec image par rapport au modèle avec uniquement du texte. Jonker *et al.* (2019) testent l'impact des couleurs des images sur la cohérence des choix dans un modèle de choix expérimentaux avec 3320 participants. Ils trouvent que les couleurs améliorent la cohérence des choix en réduisant la complexité des ensembles des choix.

3. IDENTIFICATION DE LA COMPLEXITÉ

Contrairement à littérature précédente, nous n'utilisons pas des variables relatives à la configuration du questionnaire. En nous basant sur DeShazo et Fermo (2004), nous nous intéressons aux conséquences cognitives de la perception de la complexité sur la cohérence des choix de l'individu. Dans ce cas de figure, après les ensembles de choix, nous avons mis en place une question supplémentaire pour les individus qui n'ont pas considéré tous les attributs :

Pourquoi avez-vous ignoré au moins un attribut ?

- Attributs et indicateurs mal définis
- Difficile de tous les imaginer dans un même ensemble de choix
- La fatigue
- Autres
- Le questionnaire est trop long
- Manque de concentration
- Vous ne vous intéressez pas à tous les attributs

Un ensemble de choix est considéré comme complexe si l'individu ne considère pas tous les attributs et trouve qu'il est difficile d'imaginer tous les attributs dans un même ensemble de choix. Nous avons considéré que la complexité n'est pas liée à la fatigue ni au manque de concentration mais plutôt à la difficulté de l'individu à visualiser les changements de niveaux des attributs entre les ensembles de choix. Ce type d'identification de la complexité permet de cibler les déterminants externes (hors enquête) et de l'impact direct des photos sur cette variable sur la complexité. Dans notre analyse, nous avons exclu toutes les autres causes de la non-considération des attributs afin de comparer la complexité avec les individus qui ont considéré tous les attributs.

Le tableau 22 montre le nombre d'individus selon la fréquence de la non-considération des attributs. Dans notre échantillon, 39,98% ont considéré tous les

attributs, 30,46% n'ont pas considéré tous les attributs à cause de la complexité des ensembles de choix.

Tableau 22: Nombre répondants selon les raisons de non-considérations des attributs⁶⁹

	Considérations des attributs	Complexité	Autres
	(1)	(2)	(3)
Nombre de répondants	389	304	305
	39,98%	30,46%	30,56%

Notes : Données de l'enquête.

Source : Fall (2020)

Le tableau 23 nous renseigne de la proportion des individus qui considère les ensembles de choix complexes relativement à la présence de photos et du type de photo reçue. Nous constatons qu'en absence de photo, 48,89% des individus se disent que les ensembles de choix sont complexes.

Tableau 23: Tableau croisé du type de photo et de la complexité des ensembles de choix

	Absence de photo	Photo	Été	Automne
Nombre de personnes	135	558	277	281
Part de complexité ⁷⁰	48,89%	42,65%	43,68%	41,64%

Notes : Données de l'enquête

Source : Fall (2020)

⁶⁹ Note : Les choix heuristiques correspondent aux stratégies adoptées par un individu de faire prendre une décision en ne considérant qu'une partie des attributs. Les autres choix heuristiques se définissent comme les autres raisons autre que la complexité : fatigue, manque de concentration, autres, préférences lexicographiques, attributs mal définis.

⁷⁰ La part de complexité correspond à la part des individus qui n'ont pas considéré tous les attributs à cause de la complexité des ensembles de choix par rapport à l'échantillon total

Tableau 24 : Test de comparaison de moyenne selon les variables sociodémographiques

Variable	Contrôle (pas photo) vs Traitement (photo)			Contrôle vs Traitement 1 (automne)			Contrôle vs Traitement 2 (été)		
	Statistique	p-value	Test	Statistique	p-value	Test	Statistique	p-value	Test
Revenu	0,498	0,619	Mann-Whitney	-0,15	0,8807	Mann-Whitney	1,07	0,2852	Mann-Whitney
Âge	-1,355	0,1758	Mann-Whitney	-1,259	0,2083	Mann-Whitney	-1,219	0,2234	Mann-Whitney
Années d'éducation	1,428	0,1535	Mann-Whitney	1,352	0,1767	Mann-Whitney	1,259	0,2082	Mann-Whitney
Homme	0,3388	0,6612	Chi-2	0,4979	0,0052	Chi-2	0,7653	0,2223	Chi-2

Source : Fall (2020)

Cette proportion se réduit à 42,65% lorsque les ensembles de choix sont illustrés par des photos. Plus particulièrement, 41,64% des répondants considèrent les ensembles de choix complexes en présence de photo en automne et 43,68% en présence de photo en été. Il semblerait que les photos et les couleurs de photos influencent la proportion d'individu percevant les ensembles de choix comme complexe.

Le tableau 24 présente le test d'égalité des moyennes selon les variables sociodémographiques pour s'assurer que les sous-échantillons sans photo, avec photo d'automne et photo d'été proviennent de même population mère. Ainsi, si la distribution de ces échantillons sont identiques, alors nous pouvons donc comparer directement les résultats provenant des différents échantillons. Nous appliquons un test de Mann-Whitney pour les variables continues comme le revenu, l'âge et les années d'éducation et un test de chi-2 pour les variables discrètes comme le sexe de l'individu (Mattmann et al, 2019). L'hypothèse nulle correspond à l'égalité des moyennes des variables sociodémographiques. Le tableau 24 présente le test de comparaison des moyennes avec les variables sociodémographiques. Les résultats révèlent que nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes entre l'échantillon sans photo et l'échantillon avec photo concernant l'âge ($p=0,17$), le revenu ($p=0,619$), les années d'éducation ($p=0,1535$) et l'homme ($p=0,6612$). Le même test est réalisé pour comparer les échantillons sans photo et avec photo d'automne et les échantillons sans photo avec photo d'été. Nous trouvons les mêmes conclusions selon laquelle nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes entre les variables sociodémographiques.

4. DETERMINANTS DE LA COMPLEXITÉ

Pour déterminer, l'effet des photos et de ses caractéristiques sur la probabilité que les ensembles de choix soit complexes, nous allons estimer deux équations par le modèle de probit. Dans la première équation, nous allons tester l'impact des photos sur la complexité :

$$Complexité_i = \alpha + X_i\beta + \alpha_1 photo + \varepsilon_i \quad \text{Éq. 30}$$

avec $complexité_i$ représente une variable muette égale à 1 si l'individu i trouve qu'il est difficile d'imaginer tous les attributs du paysage en même temps et 0 si l'individu à considérer tous les attribut. Cette variable est utilisée pour capturer la perception de complexité de notre questionnaire. X_i un vecteur de variables sociodémographiques. $photo$ est une variable binaire égale à 1 si les ensembles de choix sont illustrés par une photo, 0 sinon. Notre coefficient d'intérêt est α_1 qui représente l'impact causal des photos sur la complexité des ensembles de choix. Nous testons l'hypothèse que $\alpha_1 < 0$, c.-à-d. que les coûts cognitifs de l'ensemble de choix est réduit par la photo de l'esthétique du paysage.

Pour évaluer l'impact des caractéristiques des photos sur la complexité, nous avons estimé par le modèle probit deux équations supplémentaires :

$$Complexité_i = \alpha + X_i\beta + \alpha_1 automne + \alpha_2 été + \varepsilon_i \quad \text{Éq. 31}$$

avec $automne$ une variable binaire égale à 1 si la photo est prise en automne, 0 sinon. Et la variable $été$ égale à 1 si la photo est prise en été. α_1 capture l'impact de la photo d'automne sur la probabilité que l'ensemble de choix soit complexe par rapport aux individus qui considèrent tous les attributs. α_2 est l'effet marginal de la photo d'été sur la probabilité des complexités des ensembles de choix. Nous anticipons que α_1 et α_2 soient négatifs. En d'autres termes, la présence de photo d'automne ou d'été pour

rendre moins complexe le questionnaire en visualisant tous les niveaux des attributs. De plus, l'effet de la réduction de la probabilité qu'un ensemble de choix pourrait être plus importante car les couleurs d'automne permettent de mieux distinguer les attributs du paysage par conséquent la variation des attributs. De ce fait, nous testons aussi si $\alpha_1 > \alpha_2$.

Tableau 25: Déterminants de la complexité modèle de probit

	Complexité		
	(1)	(2)	(3)
Revenu (log)	0,023 (0,017)	0,022 (0,017)	0,025 (0,017)
Âge	0,013*** (0,001)	0,013*** (0,001)	0,013*** (0,001)
Années d'éducation	-0,007** (0,004)	-0,008** (0,004)	-0,008** (0,004)
Homme	0,049** (0,024)	0,046* (0,024)	0,048** (0,024)
Photo		-0,185*** (0,029)	
Automne			-0,214*** (0,031)
Été			-0,156*** (0,031)
Constante	-0,912*** (0,177)	-0,757*** (0,179)	-0,787*** (0,179)
Observations ⁷¹	12474	12474	12474
Répondants	693	693	693

Source : Fall (2020)

⁷¹ Les erreurs-types en parenthèses sont robustes. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Le tableau 25 présente les résultats des équations 30 et 31. La colonne 1 présente les résultats du probit dans lequel nous n'incluons pas de traitement relatif aux photos. Dans la colonne 2, l'équation 30 est estimée et dans la colonne 3, nous déterminons l'effet des photos d'automne et d'été sur la complexité. La colonne 1 révèle que le revenu de l'individu n'a aucun impact sur la complexité. Nous trouvons un effet positif et significative de l'âge et de l'homme sur la complexité des ensembles de choix. Par contre, les années d'éducation réduisent la probabilité de complexité. La colonne 2 met en lumière notre variable d'intérêt, la photo. Comme nous avons espéré, la photo a un effet significatif et négatif sur la probabilité que l'individu ait des difficultés à considérer tous les attributs en même temps. Ces résultats sont cohérents avec l'article de Shr *et al.* (2019) montrant que les photos réduisent les charges cognitives par rapport à la description des ensembles de choix par un texte. La colonne 3 révèle aussi que les photos prises en automne et les photos prises en été réduisent aussi la complexité. Les variables automne et été étant des variables muettes, nous pouvons comparer directement les magnitudes de leurs coefficients. Le coefficient de la photo prise en automne (-0.214) est supérieur en valeur absolue au coefficient de la photo prise en été (-0.156). Comme nous l'avons espéré, la couleur de la photo permet à l'individu de mieux considérer les variations de la dispersion et la diversité du paysage.

5. IMPACT DE LA PERCEPTION DE LA COMPLEXITÉ SUR LA PRÉCISION DES CHOIX DES RÉPONDANTS

Dans cette section, nous allons tester l'impact de la complexité sur la précision des choix des individus (DeShazo et Fermo, 2004). Nous allons supposer que le paramètre d'échelle dépend de la complexité. Supposons $U_{ijt} = V_{ijt} + \varepsilon_{ijt}$ une fonction d'utilité linéaire avec V_{ijt} la partie déterministe de la fonction d'utilité de l'individu i , dans l'alternative j et pour le choix t . Nous supposons que la différence de variance entre les individus est capturée par la complexité. Dans ce cas, nous voulons tester l'impact de la perception de la complexité des ensembles de choix et l'incohérence des choix de l'individu. Pour estimer la précision dans les choix de

l'individu, nous allons utiliser le modèle GMNL (generalized multinomial logit model) de Gu *et al.* (2013)⁷². La fonction d'utilité devient :

$$U_{ijt}^* = \sigma_i V_{ijt} + \sigma_i \varepsilon_{ijt} = \exp(\tau_1 C_i) (\beta_1 ASC + \beta_i X_{ijt} + \varepsilon_{ijt}) \quad \text{Éq. 32}$$

ASC est une variable muette égale à 1 si l'alternative est le statu quo. X_{ijt} est le vecteur des attributs. Le paramètre d'échelle σ_i est décroissant par rapport à la complexité. Les individus qui trouvent le questionnaire complexe ont une variance élevée (c.-à-d. font plus d'erreurs) c.-à-d. un paramètre d'échelle plus faible dans leur choix. Donc, nous testons si $\tau_1 < 0$.

Pour tester l'impact des types de photo sur la cohérence de choix, nous allons comparer le paramètre d'échelle du modèle en absence de photo avec les modèles avec photo d'automne et photo d'été. L'objectif est de montrer que les types de photo affectent la variance des erreurs ou la cohérence des choix par rapport au modèle sans photo.

L'équation 33 sera estimée en trois sous-échantillons : modèle sans photo qui sera notre modèle de référence (M1), le modèle avec photo d'automne (M2) et le modèle avec photo en été (M3). Puis, nous allons déterminer la variance du modèle avec photo d'automne et celle avec photo en été par rapport au modèle sans photo. La stratégie empirique est décrite de la manière suivante :

Soit $var^{M_i} = \pi / (6(\sigma^{M_i})^2)$ avec $i=1;2;3$. var^{M_i} est la variance du terme d'erreur dans le modèle M_i .

⁷² C'est la même méthode utilisée dans le chapitre 2

Proposition 1 Si $C_i = 0$, $var^{M_i}(\varepsilon_{ijt}) = \pi/6$ car $\sigma^{M_i} = \exp(\tau^{M_i} * 0) = \exp(0) =$

1. En effet, en absence de de complexité des ensembles de choix, les variances des termes d'erreurs sont constantes. Par conséquent, la précision ou la cohérence des choix est la même pour les individus qui ont considéré tous les attributs dans les trois modèles.

Proposition 2 Si $C_i = 1$, $var^{M_i} = \pi/(6(\exp(\tau^{M_i}))^2)$ car $\sigma^{M_i} = \exp(\tau^{M_i} * 1)$. τ^{M_i} capte les différences de variance d'erreur ou d'imprécision des choix entre les individus qui n'ont pas considéré tous les attributs du paysage à cause de la complexité des ensembles de choix et ceux qui n'en ont pas fait.

Nous cherchons à minimiser l'impact τ^{M_i} sur la précision des choix. En effet, nous testons le modèle par lequel la complexité a le moins impact possible sur la cohérence des choix. Afin d'évaluer la variance des modèles avec une photo par rapport au modèle sans photo, un taux de variation est calculé et défini de la manière suivante :

$$\gamma = \frac{var^{M_i} - var^{M_1}}{var^{M_1}} \quad \text{Éq. 33}$$

avec $i=2,3$

La variable γ permet d'évaluation le taux de variation de la variance des erreurs entre le modèle sans photo (M1), et les modèles avec photo (M2 et M3).

Nous allons tester si $\gamma < 0$ c.-à-d. le modèle avec photo permet de réduire les erreurs ou améliorer la précision des choix du répondant lorsque l'individu est confronté à des ensembles de choix complexe.

Tableau 26: Résultat du modèle GMNL : impact de la perception de la complexité sur la précision des choix

	Modèle sans photo (M1)		Modèle avec photo automne (M2)		Modèle avec photo été (M3)	
	Coef.	Écart-type	Coef.	Écart-type	Coef.	Écart-type
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ASC	2,072	(1,698)	-0,627	(0,492)	3,127***	(1,072)
Coût	-0,021**	(0,009)	-0,004	(0,004)	-0,019***	(0,006)
Diversité intermédiaire	0,889***	(0,154)	2,331***	(0,587)	1,028*	(0,539)
Diversité élevée	4,816**	(2,127)	1,857***	(0,562)	3,609***	(1,071)
Dispersion intermédiaire	2,184**	(0,990)	1,931***	(0,538)	-0,012	(0,425)
Dispersion élevée	2,055**	(1,041)	1,469***	(0,536)	1,129*	(0,665)
Naturalité intacte	7,246**	(3,485)	3,946***	(0,965)	7,477***	(2,063)
Naturalité semi	4,554**	(2,167)	2,860***	(0,714)	3,525***	(1,071)
Absence de perturbation	3,197*	(1,793)	1,793***	(0,472)	4,109***	(1,100)
Écart-type de la distribution des coefficients						
ASC	6,004**	(2,828)	5,847***	(1,368)	7,769***	(1,883)
Coût	0,012*	(0,007)	0,012***	(0,004)	0,015***	(0,004)
Diversité intermédiaire	0,239	(0,282)	0,287	(0,224)	0,293	(0,179)
Diversité élevée	0,017	(0,211)	1,333***	(0,410)	0,829**	(0,359)
Dispersion intermédiaire	0,625	(0,431)	0,106	(0,185)	0,024	(0,162)
Dispersion élevée	1,878**	(0,818)	1,761***	(0,455)	1,750***	(0,486)
Naturalité intacte	2,452**	(1,246)	2,129***	(0,509)	1,937***	(0,482)
Natural semi	3,744**	(1,807)	0,034	(0,165)	1,937***	(0,470)
Absence de perturbation	3,300*	(1,856)	1,905***	(0,435)	3,258***	(0,801)
Paramètre d'échelle						
Complexité	-0,659*	(0,376)	-0,507**	(0,213)	-0,661***	(0,204)
Observations	2430		5058		4986	

Notes : Résultats tirés de l'équation 33⁷³.

Source : Fall (2020)

Le tableau 26 montre les résultats de l'équation 33 selon les échantillons sans photo, avec photo automne et avec photo en été. Dans la colonne 1, tous les attributs sont significatifs avec les signes attendus. Le coefficient capturant la perception de la complexité dans le paramètre d'échelle est négatif et significatif à 10%. Les individus considérant les ensembles de choix complexes font des choix plus aléatoires (Meyerhoff *et al.*, 2015) dans le modèle en absence de photo. Dans les colonnes 3, nous considérons l'échantillon dont les ensembles de choix sont illustrés par des photos en automne. Le coefficient de la complexité reste robuste significatif à 5% et négatif. Nous obtenons le même résultat de la complexité dans la précision des choix du répondant pour le modèle avec photo en été avec une significativité à 1% (colonne 5). L'intérêt

⁷³ Note : les points chauds sont les zones sont significativement à valeurs élevées c.-à-d. dont l'intervalle de confiance est supérieur à 90%.

de ce chapitre est de comparer les trois modèles pour déduire de l'impact des types de photos sur la cohérence des choix. Le tableau 26 montre que le coefficient devant la complexité τ est plus faible dans le modèle avec photo en automne. Par contre, ce coefficient est sensiblement égal dans le modèle avec photo en été par rapport au modèle sans photo. Les photos d'automne permettent de minimiser les erreurs lorsque l'individu ne considère pas tous les attributs à cause de la complexité des ensembles de choix. Par contre, lorsque nous présentons les photos prises en été au répondant, nous n'obtenons pas de différence significative dans la cohérence des choix par rapport au modèle sans photo.

En utilisant le taux de variation de la variance γ par rapport au modèle sans photo, la variance des erreurs associée à la perception de la complexité est réduite de -26,21% pour le modèle avec photo en automne. Par contre, ce taux de variation est de 0,40% le modèle avec photo en été par rapport au modèle sans photo. Les résultats nous indiquent les photos en automne améliore la précision des choix dans le cas où les individus trouvent les ensembles de choix complexes. Par contre, nous ne trouvons aucun apport significatif dans la précision des choix pour les photos prises en été.

6. CONCLUSION

Le but de ce chapitre est de trouver dans un premier temps les facteurs en particulier les photos qui influencent la perception de la complexité et dans un deuxième temps, évaluer l'impact des photos sur la cohérence des choix. Dans le cadre de l'évaluation de l'esthétique du paysage, la prise en compte de la complexité des choix est pertinente car l'esthétique du paysage est un bien non familier. Nous avons testé l'impact des photos dans la minimisation des erreurs si les ensembles de choix sont perçus comme complexes. Nous avons trouvé que la photo d'automne améliore significativement la précision des choix par rapport au modèle sans photo. Par contre, nous ne trouvons aucun apport pour les photos prises en été. Notre étude est importante dans les études de l'esthétique du paysage en montrant que les photos sont importantes

pour réduire la probabilité que l'individu ne considère pas tous les attributs et les types de photos ont un effet différent dans la précision des choix.

CINQUIÈME CHAPITRE : LES EFFETS DU SIGNAL DE PRIX DU CARBONE SUR LE BIEN-ÊTRE SUBJECTIF

1. INTRODUCTION

Selon les prévisions les plus alarmistes, l'augmentation de la température globale est estimée à plus de 3.4° C à 5.6 ° C d'ici 2100 (Allen *et al.*, 2013 ; Nordhaus, 2015). Sans politiques environnementales, selon le Fonds Monétaire International (FMI)⁷⁴, les conséquences du réchauffement climatique sont majeures sur le développement économique, l'environnement avec une recrudescence des épisodes de météo extrêmes et de sécheresse, la perte de productivité agricole et du Produit National brut par habitant (Pachauri *et al.*, 2014, Moore *et al.*, 2019 ; Nordhaus, 2015), la santé publique et sur l'augmentation massive des flux de migrations climatiques (Rigaud *et al.*, 2018 ; FMI, 2017)). Les effets catastrophiques du changement vont se répercuter plus fortement dans les pays les plus pauvres (Hallegatte *et al.*, 2016 ; Schellnhuber *et al.*, 2012). C'est dans ce contexte, que les pays ont signé les Accords de Paris sur le Climat⁷⁵ en 2015 pour limiter les émissions de gaz à effet de serre durant la conférence sur la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. 188 Parties se sont engagées à mettre en place des politiques environnementales pour limiter la hausse de la température mondiale en dessous de 2°C avec un objectif de 1.5°C. Selon les recommandations du FMI, de la Banque Mondiale (BM) (Ramstein *et al.*, 2019) et l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE), le prix du carbone est l'instrument le plus efficient en termes de coût-efficacité pour aider à la transition vers une économie à faible émission de carbone. Cependant, les institutions internationales (OECD et Group, 2015 ; Ramstein *et al.*, 2019) jugent que le prix du carbone appliqué dans les pays n'est pas suffisant pour atteindre les objectifs des

⁷⁴ <https://www.imf.org/en/Publications/FM/Issues/2019/09/12/fiscal-monitor-october-2019>

⁷⁵ Sources : Paris Agreements, UNFCCC https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

accords de Paris c.-à-d. 40\$ à 80\$ par tonne de CO₂ en 2020 et 50\$ à 100\$ par tonne de CO₂ en 2030, la moyenne du prix du carbone étant actuellement en dessous de 10 \$ par tonne de CO₂ en 2017.

En effet, en absence de politiques d'accompagnement, la hausse du prix du carbone pourrait être freinée par la hausse du prix de l'énergie affectant les populations les plus vulnérables, par la perte d'emploi dans les secteurs d'énergie, les insuffisances de marché ralentissant le financement des firmes pour la transition vers une économie à faible émission de carbone. Des articles récents montrent l'importance de l'économie politique dans la mise en place du prix du carbone notamment le rôle des groupes de pression du secteur de l'énergie. Des articles comme Jenkins (2014), Kang (2016), Dolphin *et al.* (2016) prouvent le rôle des groupes de pression des secteurs de production d'électricité et des industries dans la prise de décision politique pour la mise en place des politiques environnementales. L'impact du signal du prix du carbone sur le bien-être des individus et sur les secteurs économiques pourrait constituer un coût politique en absence de politique d'accompagnement. L'exemple le plus marquant est le cas de la France, qui a mis en place un prix du carbone à 24\$ en 2014. Cependant, en absence d'information claire sur l'utilisation des ressources et de politiques d'accompagnement, la hausse du prix du carbone a abouti rapidement à une crise sociale sans précédent au mois de décembre 2018 obligeant le gouvernement français à plafonner le prix du carbone à 50\$⁷⁶.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer les éventuels coûts de bien-être subjectif d'une hausse du prix du carbone dans 21 pays d'Europe⁷⁷. La hausse du prix du carbone sur le bien-être est aussi testée de manière désagrégée en nous intéressant sur le prix du carbone provenant des secteurs du transport routier, de l'électricité, du secteur résidentiel, du secteur de l'agriculture et de la pêche, de l'industrie et du secteur de

⁷⁶ Source Washington Post, décembre 2018 https://www.washingtonpost.com/world/france-suspends-controversial-fuel-tax-after-weeks-of-unrest/2018/12/04/d32577a6-f7b6-11e8-8d64-4e79db33382f_story.html

⁷⁷ Pays de l'OCDE membres du Protocole de Kyoto (Annexe 1) et des Accords de Paris

l'aviation. Nous avons évalué les conditions défavorables à la mise en place de prix du carbone et les politiques d'accompagnement pouvant atténuer ces effets. Notre stratégie empirique est basée sur la combinaison de données microéconomiques et macroéconomiques. Les données microéconomiques proviennent de l'Enquête Sociale Européenne. Notre mesure de bien-être subjectif est relative à la satisfaction à la vie. Cette enquête nous renseigne sur le comportement social et les données sociodémographiques de la population européenne. Les données sur prix du carbone proviennent des rapports de l'OCDE 2016⁷⁸ et 2018⁷⁹ sur le prix effectif du carbone. Les données sont disponibles pour les années 2012 et 2015.

Nos résultats montrent que, la hausse du prix du carbone constitue un coût de bien-être subjectif. En particulier, une hausse de 10\$ du prix du carbone correspond à une baisse du bien-être individuel ou de la satisfaction à la vie de 0.04 point sur une échelle de 10. Cet effet correspond à une perte d'une unité de bien-être pour 4% de population. Plus précisément, en testant la non-linéarité du signal du prix du carbone sur le bien-être, nous avons trouvé que le signal est positif jusqu'au point de retournement de 30\$. Ce coût en bien-être provient principalement de la hausse du prix du carbone dans les secteurs agricoles, de l'industrie et de la production d'électricité. Nous avons identifié aussi que les effets de la hausse du prix du carbone sont amplifiés dans un contexte de chômage, de taux d'endettement élevée de dépréciation de l'euro face au dollar américain. Dans ces conditions, les politiques d'accompagnement comme une politique monétaire (baisse du taux d'intérêt et amélioration de l'accès au financement bancaire), les politiques de change (ouverture du compte de capital et limitation de la dépréciation de l'euro face au dollar américain), les politiques d'aide à la création d'entreprise et à l'innovation technologique pourraient atténuer l'effet du prix du carbone et réduire la probabilité d'apparition de crises sociales.

78 <https://www.oecd.org/tax/effective-carbon-rates-9789264260115-en.htm>

79 <https://www.oecd.org/fr/fiscalite/politiques-fiscales/taux-effectifs-sur-le-carbone-2018-resume.pdf>

Notre étude est une des premières à évaluer le coût de bien-être subjectif du signal du prix du carbone. Si les coûts du bien-être sont négligés, il pourrait aboutir à ralentissement de la hausse du prix du carbone pour atteindre les objectifs des Accords de Paris (OECD et Group, 2015). Nous avons aussi évalué les conditions défavorables dans lesquelles la mise en place de prix du carbone serait un coût politique pour les décideurs politiques et les politiques d'accompagnement pour limiter la probabilité de conflits sociaux.

Notre étude est reliée d'une part à la littérature sur l'évaluation des impacts du signal du prix du carbone sur la compétitivité des firmes (Nicholson *et al.*, 2011), sur le marché du travail (Deschenes, 2011), sur la réduction des émissions de carbone (Boyce, 2018) et les variables économiques (Kang, 2016). Et d'autre part, notre papier est proche de la littérature du bonheur et de la satisfaction à la vie (Clark et Oswald, 1994). En effet, certains auteurs ont évalué la relation entre le bien-être subjectif et l'environnement (Welsch et Kühling, 2009), les événements de météo extrêmes (von Möllendorff et Hirschfeld, 2016), l'impact des mesures de consolidation budgétaires (Eklou et Fall, 2020) et les effets asymétriques de la croissance économique (De Neve *et al.*, 2018).

Notre chapitre est divisé comme suit : la section 2 est dédiée à la théorie du prix du carbone ; la section 3 est basée sur les données du prix du carbone et les données microéconomiques et macroéconomiques utilisées dans notre étude ; dans la section 4 nous allons étudier l'impact du signal du prix du carbone sur le bien-être, dans la section 5 nous allons tester la non-linéarité du signal du prix du carbone ; la section 6 est consacrée aux robustesses de l'effet du prix du carbone ; la section 7 est consacrée aux conditions macroéconomiques défavorables à la hausse du prix du carbone et les politiques d'atténuation ; enfin nous allons conclure dans la section 8.

2. PRIX DU CARBONE : THEORIE

Le prix du carbone est déterminé en fonction du coût Social du Carbone c.-à-d. la valeur monétaire actualisée des dommages associés à une hausse supplémentaire des émissions de carbone par année. Cette hausse inclut l'impact sur la santé publique, les risques d'inondation, la perte de productivité agricole (Group *et al.*, 2013). Ce prix ne doit pas être excessif pour éviter un impact négatif trop élevé sur la croissance économique. La détermination du coût Social du Carbone est primordiale pour respecter les Accords de Paris c.-à-d. de limiter à la hausse de la température globale moins de 2°C tout en limitant au maximum les impacts sur l'économie et le bien-être des populations (Ramstein *et al.*, 2019 ; Stiglitz *et al.*, 2017) ont estimé le coût global du prix du carbone cohérent à un objectif de 2°C entre 50 à \$100 par tonne d'ici 2030. Group *et al.* (2013) suggèrent le coût social du carbone à 36\$ en 2015 et 50\$ en 2030 avec un taux d'actualisation à 3%. Le Fonds Monétaire International⁸⁰ suggère un prix du carbone à 75\$ par tonne de CO2 d'ici 2030. Ce scénario correspond une réduction de 725 000 décès liés à la pollution de l'air, mais d'autre part à une augmentation de 43% du prix de l'électricité et 14% du prix de l'essence et 200% du prix du charbon (élément hautement intensif en carbone).

Dans le marché de l'emploi, le FMI anticipe que le prix du carbone de 50\$ peut avoir un large effet sur les travailleurs surtout dans les secteurs utilisant le charbon comme source d'énergie. Certes, les emplois liés au charbon baissent naturellement sous les politiques environnementales actuelles mais cette baisse serait accélérée d'ici 2030 après que le prix du carbone atteigne à 50\$. Par exemple, les pertes d'emploi dans le marché du travail lié au charbon peuvent varier de 8 to 55 % aux États-Unis et 42 à 45% en Chine et en Inde.

Pour implémenter le prix du carbone, deux instruments sont jugés efficaces en termes de coût- efficacité : la taxe carbone et les permis d'émission. Particulièrement,

80 Sources IMF Monitoring Fiscal Report October (2019) et Washington Post : <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2019/10/10/world-needs-massive-carbon-tax-just-years-limit-climate-change-imf-says/>

les permis d'émission sont déterminés par le marché par conséquent les acteurs du marché déterminent eux-mêmes l'offre et la demande (McKittrick, 2016 ; Ramstein et al., 2019)

La taxe carbone peut avoir des interactions avec le système de taxation du pays. De manière optimale, la taxe carbone doit être neutre en termes de revenu. En effet, la hausse de la taxe carbone doit s'accompagner d'une baisse des autres taxes comme les taxes sur le revenu et sur le profit des firmes pour réduire leurs effets de distorsions. Cependant, en présence d'inefficience de marché, la taxation du carbone pourrait s'éloigner de l'optimalité et ainsi avoir des impacts négatifs sur le marché du travail et des facteurs de production. Pour éviter des oppositions politiques provenant des industries utilisant de l'énergie fossile et de la population, il faudrait développer des stratégies pour réduire les coûts économiques de la transition et protéger la population vulnérable (OECD et Group, 2015) ⁸¹).

Dans notre étude, nous allons tester l'impact contemporain du prix du carbone sur le bien-être subjectif de la population. Les canaux par lesquels le signal du prix du carbone pourrait affecter le bien-être subjectif sont les suivants :

- **H1 : L'impact du prix du carbone sur le marché du travail** : la hausse du coût des facteurs de production pour les industries et dans le secteur de l'électricité intensive en carbone pourrait réduire l'offre de travail et l'accumulation de capital.
- **H2 : L'impact du prix du carbone sur le prix de l'énergie** : la hausse du prix de l'énergie pourrait amener les individus à changer leur habitude de consommation et réduire leur consommation d'énergie. Mais cette hausse affecte plus fortement les populations les plus fragiles.

⁸¹ Détails des principes pour une introduction avec succès de la taxe carbone

- **H3 : Amplification de l'impact du prix du carbone à cause des conditions macroéconomiques défavorables :** Le signal d'une hausse du prix du carbone pourrait être plus négatif sur le bien-être si l'environnement macroéconomique actuel est dégradé (fort taux de chômage, faible croissance économique) ou en présence d'inefficience de marché. Par exemple, si le développement financier est faible, les firmes ainsi que les ménages auront difficilement accès au marché financier pour s'adapter à la transition économique.

3. DONNÉES

3.2 SIGNAL DU PRIX DU CARBONE

Le prix du carbone est un instrument permettant de taxer les émissions de carbone. Dans la base de données de l'OCDE sur le prix effectif du carbone en 2016 et 2018, nous avons considéré ces trois composants dans le calcul du prix du carbone dans 21 pays européens pour les années 2012 et 2015 :

- Les taxes du carbone sont des taxes sur les sources d'énergie selon leur teneur en carbone (essence, charbon et le gaz naturel). Cette taxe est fixée par une unité de carbone qui pourrait être couverte en litre, kilogramme ou giga joule pour des raisons fiscales. Cette taxation dépend des secteurs et des juridictions pouvant entraîner des distorsions entre les secteurs d'une même juridiction.
- Les taxes spécifiques sont des taxes indirectes appliquées sur les énergies. Ces types de taxation pourraient entrer dans le calcul de la taxe effective dans la mesure qu'il existe une relation entre les caractéristiques et les teneurs en carbone dans chaque source d'énergie.
- Les permis d'émission de carbone sont des outils de politiques environnementales aidant les industries à limiter les émissions de carbone de manière efficiente. Dans notre échantillon, nous avons considéré deux types de marchés du carbone. Le

Marché de l'Union européenne D'Échange de Permis d'émission⁸² et le Marché Suisse d'Émission de Permis d'émission.

Pour calculer le taux moyen effectif du prix du carbone, il est nécessaire de prendre en compte la part d'émission couverte par les taxes du carbone et par les permis d'émission. La couverture des émissions de CO₂ par le prix du carbone dépend de la vulnérabilité des firmes et des ménages, la possibilité de fuite de carbone⁸³ de certains secteurs, la prise en compte de la combustion de biomasse⁸⁴. Les données sur le taux de couvertures proviennent des statistiques de l'OCDE et des rapports de l'OCDE sur le Prix Effectif du Carbone 2016 et 2018. Le Rapport 2016⁸⁵ et le Rapport 2018⁸⁶ contiennent les détails sur les taxes du carbone⁸⁷, les prix des permis d'émission dans la marché suisse et européens et les renseignements sur les taux de couverture des émissions de CO₂ couvertes par les taxes carbone et les permis d'émission dans chaque secteur de l'économie pour les années 2012 et 2015.

Le tableau 27 présente les années de mise en place des permis d'émission et de l'introduction des taxes de carbone. La Finlande, la Norvège, la Pologne et la Suède sont les premiers pays à mettre en place les taxes carbonées. Par contre, la Hongrie, La Slovaquie, la Hollande, l'Autriche, La Belgique, l'Allemagne, la Grèce et l'Espagne ont adopté uniquement le mécanisme de Permis de Carbone pour contraindre les industries à réduire les émissions de CO₂.

⁸² Pour plus de détails : https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

⁸³ Carbon leakage

⁸⁴ Certains pays ne taxent par les émissions issues de la combustion de biomasse

⁸⁵ Données : <http://oe.cd/emissionsdata>

⁸⁶ Données : <https://www.oecd.org/tax/tax-policy/effective-carbon-rates-all.pdf>

⁸⁷ Dans le calcul du taux moyen effectif de la taxe carbone, étant donné que nous nous intéressons que sur le signal explicite du prix du carbone, les taxes du carbone relatives au changement climatique sont calculées que dans les pays qui ont en place explicitement et publiquement ces types de taxation suivant le tableau. Dans les autres pays qui n'ont pas encore mis en place la taxe carbone avant 2015, le prix du carbone inclut uniquement le prix du permis d'émission. Le calcul de la couverture d'émission inclut la combustion de biomasse.

Tableau 27: Juridiction avec prix du carbone

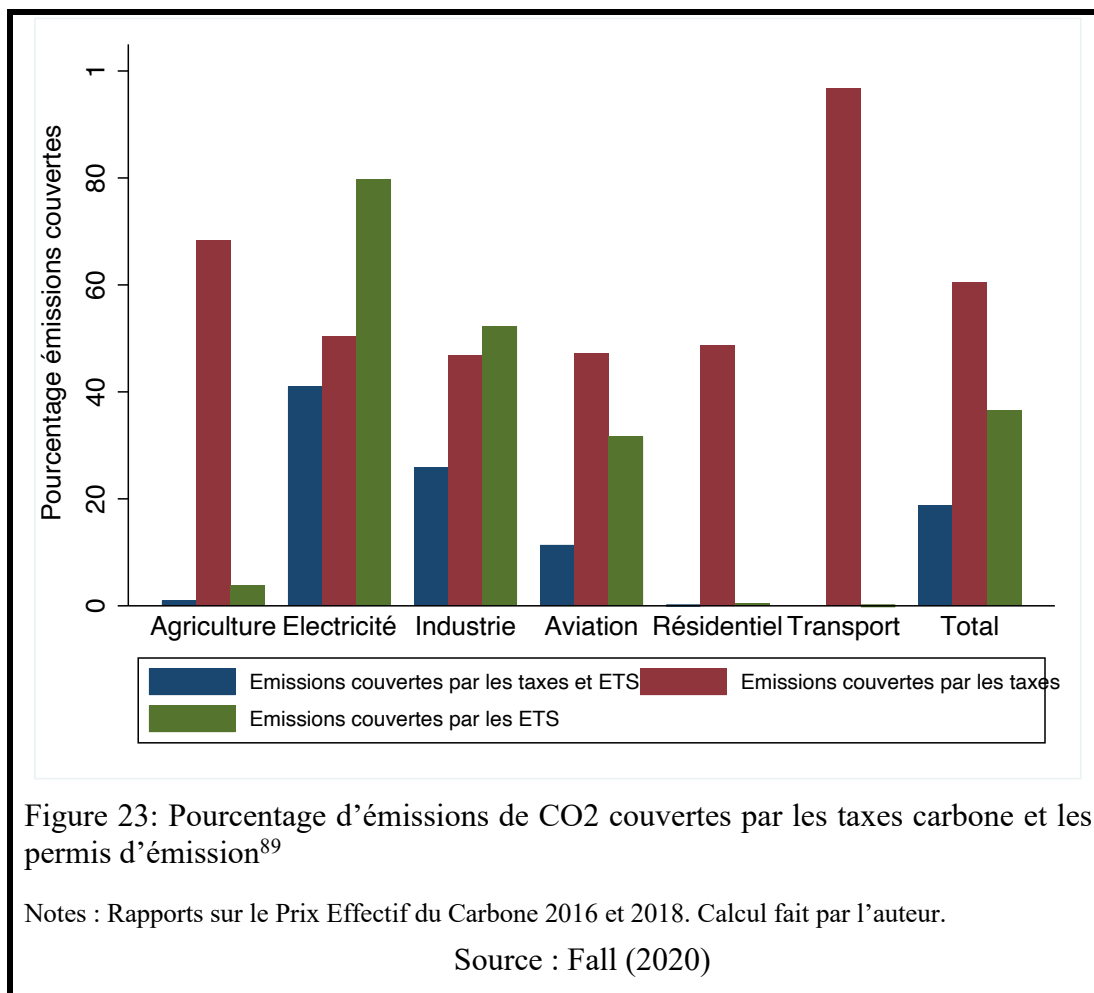
	Émissions Permis	Introduction taxe carbone
Autriche (AUT)	2005	
Belgique (BEL)	2005	
Suisse (CHE)	2008	2008
République tchèque (CZE)	2005	
Allemagne (DEU)	2005	
Danemark (DNK)	2005	1992
Espagne (ESP)	2005	
France (FRA)	2005	2005
Hongrie (HUN)	2005	
Irlande (IRL)	2005	2010
Hollande (NLD)	2005	
Norvège (NOR)	2005	1990
Suède (SWE)	2005	1990

sources : Tableau tiré Dolphin *et al.* (2016). Ces pays sont membres du Protocole de Kyoto (Annexe et des Accords de Paris. ([https:// unfccc.int/process/parties-non-party-stakeholders/ parties-convention-and-observer-states?field_nationalcommunications_target_id=5B5155D=515&field_partystartyto_target_id=5B5115D=511](https://unfccc.int/process/parties-non-party-stakeholders/parties-convention-and-observer-states?field_nationalcommunications_target_id=5B5155D=515&field_partystartyto_target_id=5B5115D=511))

En effet, dans le Marché Européen, en 2013, près de 80% des industries ainsi qu'une large majorité des compagnies aériennes ont reçu une allocation gratuite de permis d'émission. Par contre, le secteur de l'électricité ne reçoit pas d'allocation gratuite donc est obligé d'acheter des permis dans le marché. Les couvertures des émissions par secteur sont illustrées sur la figure 23. Les secteurs⁸⁸ du transport routier, du résidentiel et de la construction ainsi que le secteur de l'agriculture et de la pêche sont couverts principalement par les taxes. Les secteurs de l'industrie et de l'électricité sont par

⁸⁸ les classifications des secteurs est basée sur United Nations International Standards Industrial Classification (ISIC) et sur l'IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gases Inventories

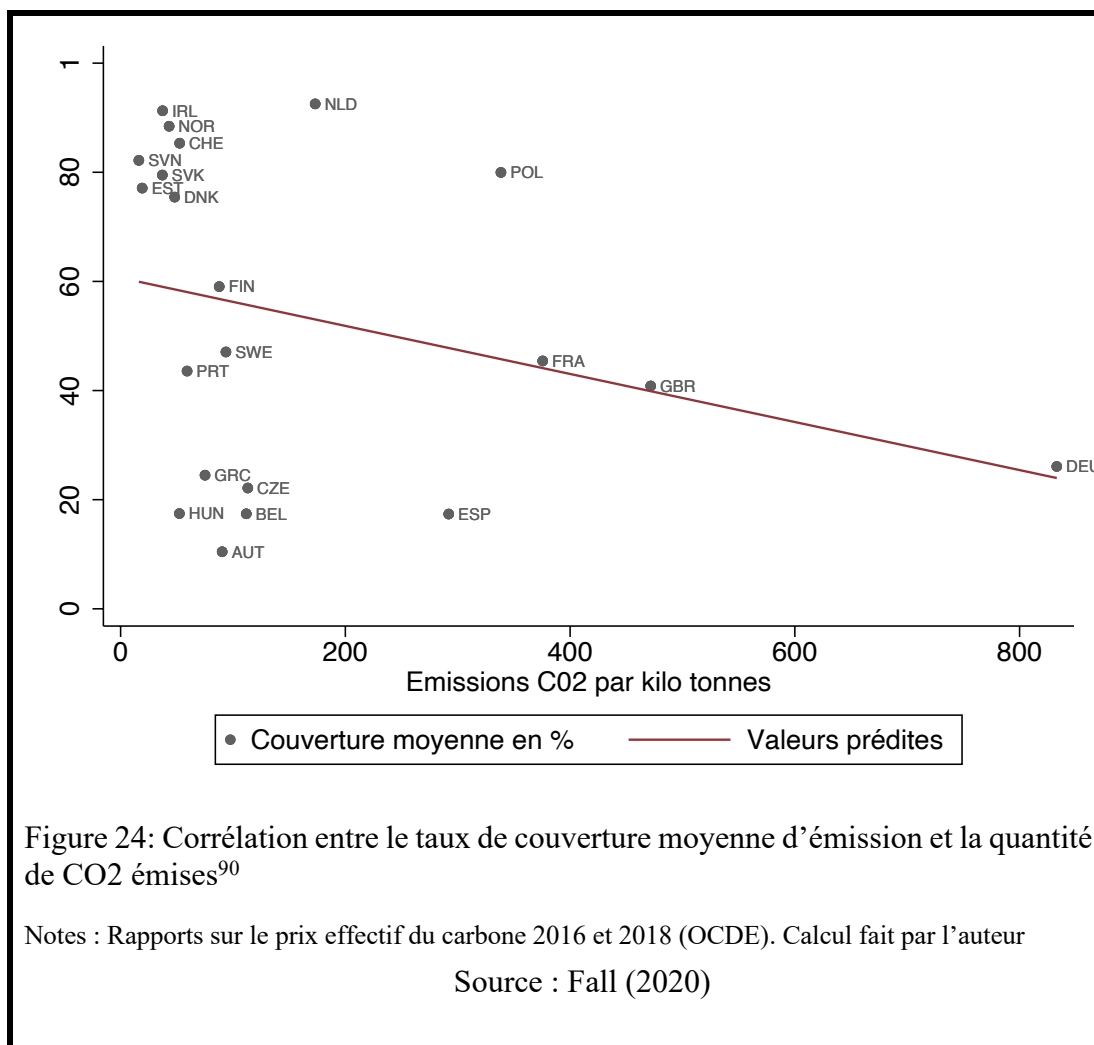
contre principalement couverts par les émissions de permis. Le secteur du transport est le secteur le plus couvert par le prix du carbone.



La figure 24 montre la corrélation entre le taux de couverture moyenne des émissions et la quantité d'émission. Elle montre que les pays à plus faible émission de carbone ont des taux de couverture plus élevés. En particulier, les pays nordiques comme la Suède, le Danemark, la Finlande et la Norvège. Cette relation négative entre le taux de couverture et la quantité d'émission pourrait s'expliquer par le poids des

⁸⁹ Note : Cette figure montre le pourcentage des émissions couvertes par secteur. Ce graphique couvre la période 2012 et 2015 sur 21 pays européens

industries utilisant des sources intensives en carbone dans les décisions politiques et leur poids dans l'économie.



Suivant les recommandations de l'OCDE sur le calcul du prix du carbone et de l'article de Dolphin *et al.* (2016), le prix du carbone ECP_{sct} est défini de la manière suivante :

⁹⁰ Légende: Autriche (AUT), Belgique (BEL), Suisse (CHE), République tchèque (CZE), Allemagne (DEU), Danemark (DNK), Espagne (ESP), Estonie (EST), Finlande (FIN), France (FRA), Royaume-Uni (GBR), Grèce (GRC), Hongrie (HUN), Irlande (IRL), Hollande (NLD), Norvège (NOR), Pologne (POL), Portugal (PRT), Slovaquie (SVK), Slovénie (SVN), Suède (SWE)
Source : WDI et rapport sur les Prix Effectifs du Carbone (OCDE)

$$ECP_{sct} = \frac{[\tau_{sct} * q_{taxe,sct}] + [p_t * q_{ets,sct}] + [(\tau_{sct} + p_t) * q_{est,taxe,sct}]}{q_{sctCo2}} \quad \text{Éq. 34}$$

Où ECP_{sct} représente le signal du prix du carbone dans le secteur s en dollar par tonne de carbone, dans le pays c à l'année t , τ_{sct} est la taxe carbone appliqué dans le secteur s , $q_{taxe,sct}$ est les émissions de CO2 couvertes uniquement par les taxes dans le secteur c , p_t est le prix d'un permis d'émission, $q_{ets,sct}$ est la quantité couverte par les permis d'émissions dans le secteur c , q_{sctCo2} est la couverture d'émissions couverte par les taxes et les permis d'émission en même temps.

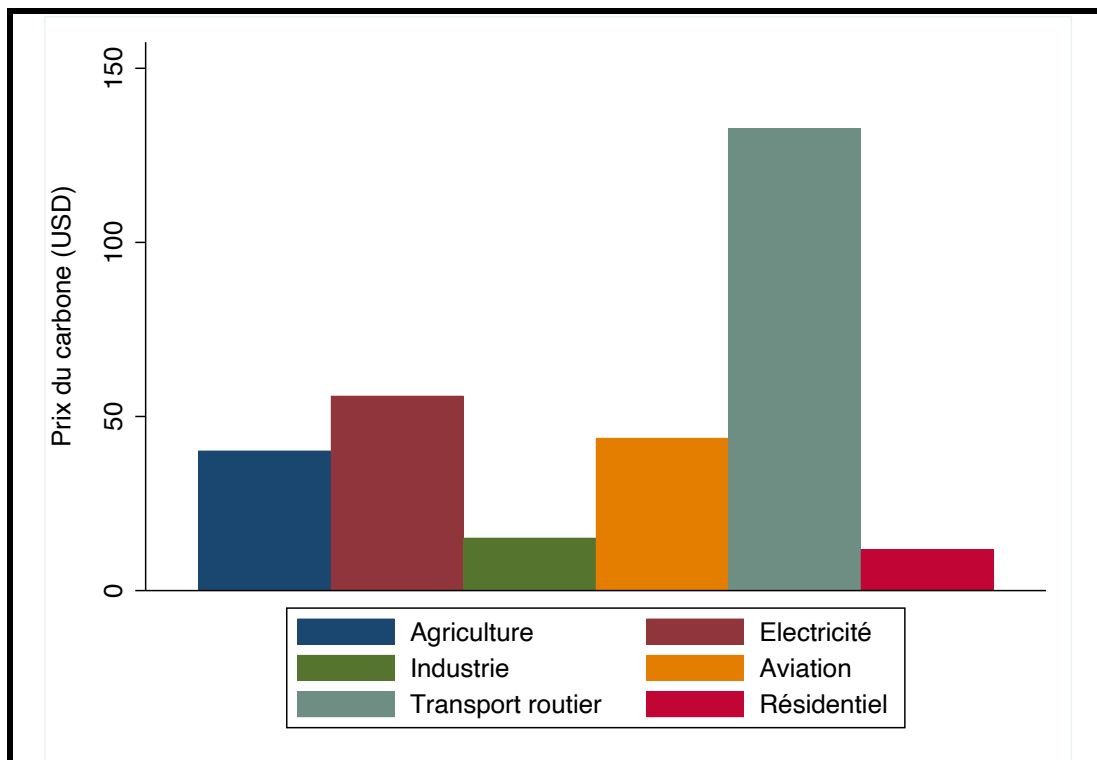


Figure 25 : Prix effective du carbone par secteur pour les années 2012 et 2015

Notes : Source Rapport Prix Effectif du Carbone 2016-2018. Calcul fait par l'auteur

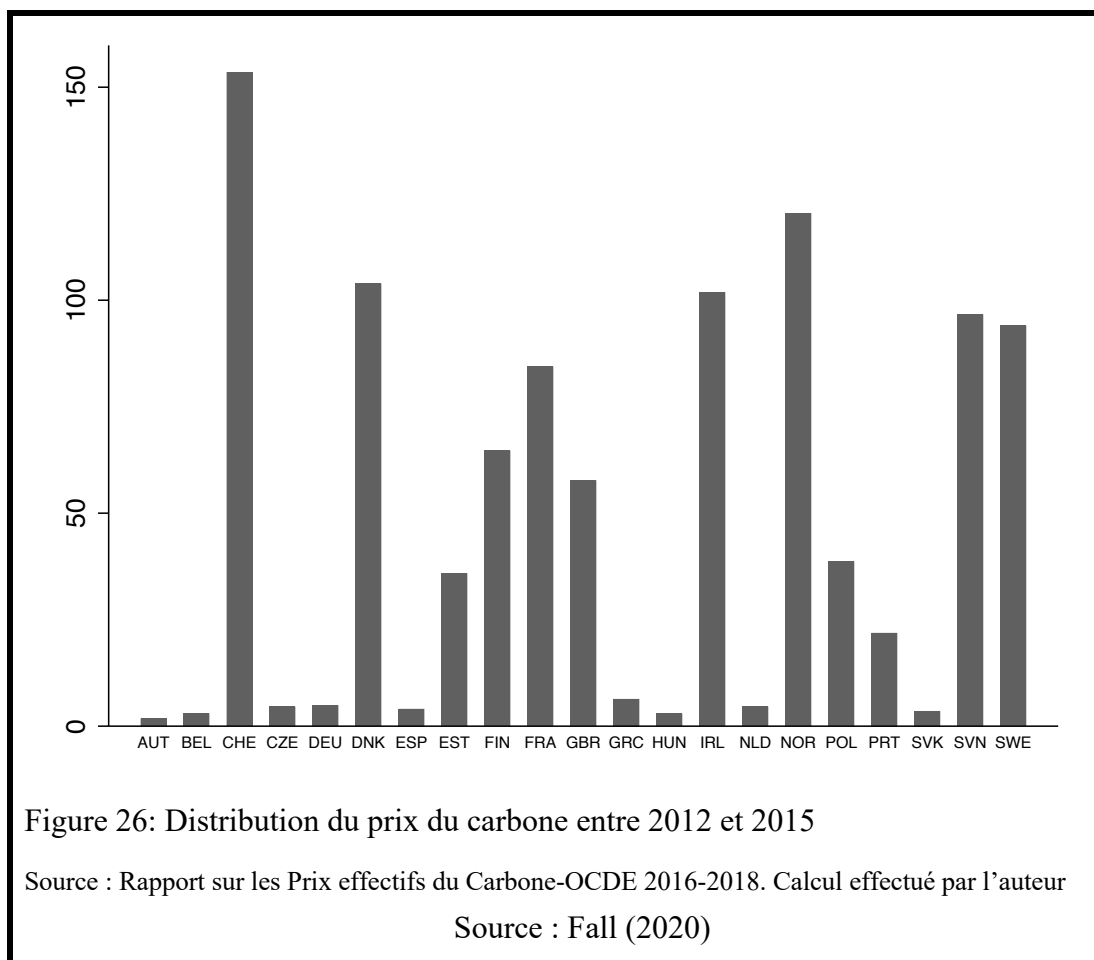
Source : Fall (2020)

Le taux moyen du prix du carbone au niveau national est défini de la manière suivante :

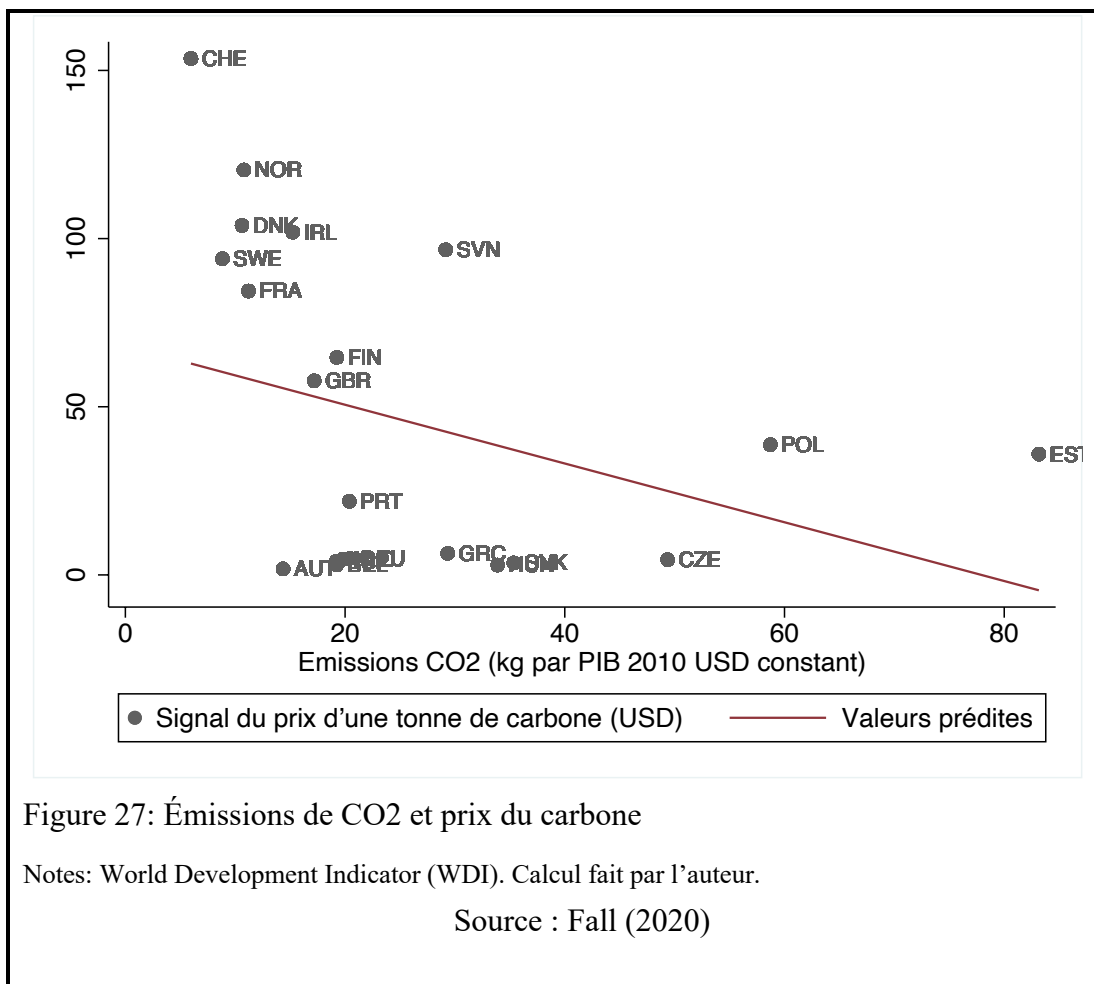
$$ECP_{ct} = \sum_s \left(ECP_{sct} * \frac{q_{sctCo2}}{q^{Co2}} \right) \quad \text{Éq. 35}$$

$\frac{q_{sctCo2}}{q^{Co2}}$ est la part de l'émission de carbone du secteur s par rapport à l'émission globale du pays c.

La figure 25 montre le taux effectif du prix du carbone par secteur. Nous constatons que ce prix est très élevé dans le secteur du transport. Cela pourrait s'expliquer par l'utilisation de la taxe carbone pour améliorer les infrastructures existantes. En tenant compte des couvertures d'émission et la combustion de biomasse dans notre calcul, la suisse envoie un plus signal du prix du carbone, ainsi que les pays Scandinaves comme la Suède, le Danemark et la Norvège. Selon nos calculs, la Suède, la Suisse et la Norvège émettent des signaux de prix du carbone plus élevés (figure 26).



La figure 27 illustre la corrélation entre les émissions de CO₂ et le prix du carbone. Nous constatons que les pays à faible émission ont des prix du carbone plus élevés. Cela pourrait être dû à l'existence de groupes de pression dans l'industrie et dans la production d'électricité qui retarde et rend difficile la mise en place d'un prix du carbone.



3.3 SATISFACTION À LA VIE

Notre variable dépendante est la satisfaction à la vie est un proxy du bien-être individuel. Cette variable est un complément aux traditionnelles mesures de bien-être car elle est corrélée à l'utilité de l'individu et la qualité de la vie (for Economic Co-operation et Development, 2011). La satisfaction de la vie a été utilisée dans la

littérature pour évaluer l'environnement (Welsch et Kühling, 2009), la qualité de l'air (Luechinger et Raschky, 2009), les événements de météo extrême (von Möllendorff et Hirschfeld, 2016), la pollution (Levinson, 2012), l'impact des mesures de consolidation budgétaires (Eklou et Fall, 2020) et les effets asymétriques de la croissance économique (De Neve et al., 2018).

La satisfaction à la vie provient de la base de données d'Enquête Sociale Européenne (ESS)⁹¹. La base de données ESS est une série de coupes transversales établies depuis 2001 dans les pays européens. Chaque deux ans, une série de questions sur les attitudes, les croyances et les interactions sociales et politiques sont mis en place dans plus de 30 pays européens. Les questionnaires sont administrés en face-à-face aux répondants. L'échantillonnage s'est fait de la manière suivante : l'échantillon peut contenir toute personne résidant dans un ménage privé selon sa langue et sa nationalité ; les individus sont sélectionnés de manière aléatoire à tous les stades ; le nombre total de répondants dans chaque pays est compris entre 1500 et 800 si le pays contient moins de 2 millions d'habitants. À partir de cette base de données, nous avons mesuré notre variable d'intérêt pour capturer le bien-être subjective de l'individu. Cette variable catégorielle de 10 niveaux est basée selon la question suivante : "Dans quelle mesure êtes-vous satisfait de votre vie ? [10] extrêmement satisfait, [9], [8], [7], [6], [5], [4], [3] [2], [1], [0] extrêmement insatisfait".

⁹¹ European Social Survey

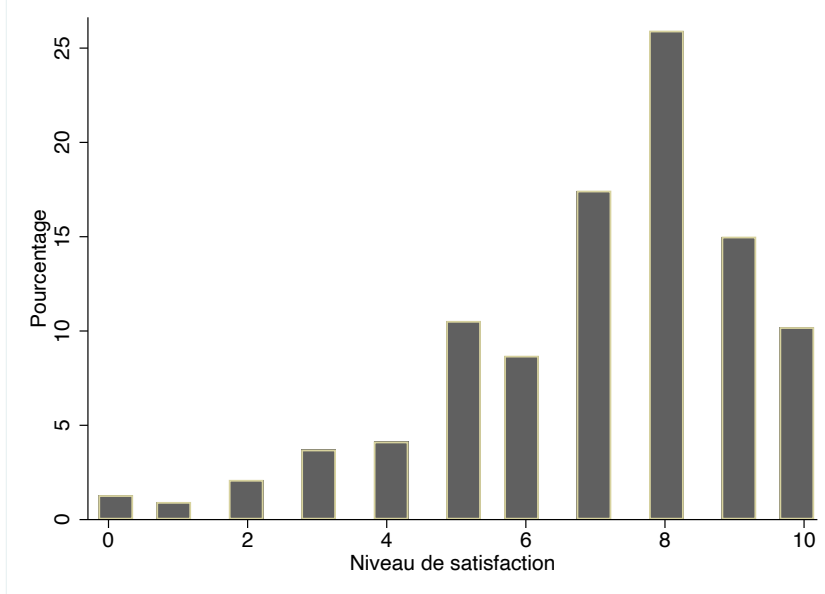


Figure 28: Distribution de la satisfaction de la vie dans l'échantillon⁹²

Notes : Enquête Sociale Européenne (ESS). Calcul fait par l'auteur.

Source : Fall (2020)

La figure 28 montre la distribution de la satisfaction de la vie dans l'échantillon. La moyenne de la satisfaction à la vie se situe entre 7 et 9. La figure 29 montre que la moyenne du niveau de bien-être subjectif est différente selon les pays entre les années 2012 et 2015. Les pays comme la Suisse, le Danemark, la Finlande, le Norvège et la Suède ont des niveaux de satisfaction à la vie plus élevés.

⁹² Notes : Extrêmement satisfait [10], ..., Extrêmement insatisfait [1]

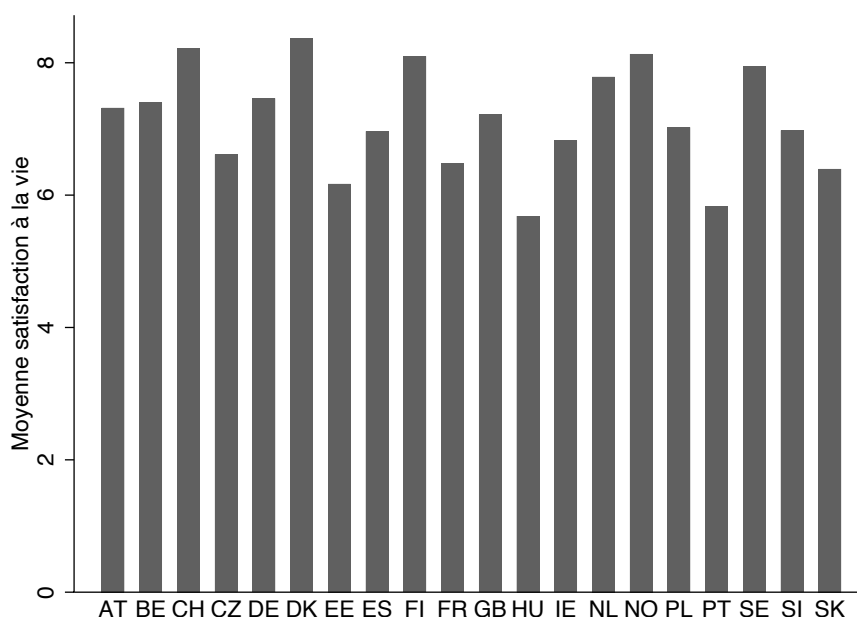


Figure 29: Distribution de la satisfaction de la vie par pays entre 2012 et 2015

Notes : Enquête Sociale Européenne (ESS). Calcul fait par l'auteur

Source : Fall (2020)

3.4 VARIABLES MICROÉCONOMIQUES

Pour bien spécifier l'impact du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif, nous avons ajouté des variables individuelles susceptibles d'affecter le bien-être comme le statut marital égal à 1 si l'individu est marié, l'âge, le niveau d'éducation, le sexe. La catégorie du revenu est une variable catégorielle capturant le quartile de revenu de l'individu du 1er quartile [1] au 10ième quartile [10]. L'importance pour l'environnement est une variable catégorielle captant l'importance de l'individu pour l'environnement provenant de la question suivante : "Comment devrions-nous prendre soin de l'environnement : [1] pas du tout comme on devrait prendre soin de moi, [2] pas comme on devrait prendre comme moi, [3] un peu comme on devrait prendre moi, [4] parfois comme on devrait prendre moi, [5] comme on devrait prendre moi, [6] beaucoup comme on devrait prendre moi."

Gerdtham et Johannesson (2001) étudient la relation entre le bonheur et le revenu, la santé, le chômage, l'urbanisation, le sexe, le statut marital et l'âge. Ils trouvent que le bonheur augmente avec le revenu, la santé et l'éducation et diminue avec le chômage, l'urbanisation, le célibat et le genre masculin. Il pourrait exister une relation en forme U avec le bonheur dans la catégorie 45-64 ans.

3.5 VARIABLES MACROÉCONOMIQUES

Pour prendre en compte les éventuelles variables omises qui pourraient affecter le bien-être individuel, nous contrôlons aussi pour les variables macroéconomiques suivant la littérature empirique (De Neve *et al.*, 2018). Nous prenons en compte les conditions macroéconomiques de chaque pays en contrôlant pour le taux d'inflation, la croissance du Produit Intérieur Brut par habitant (PIB/habitant). Ces variables proviennent de "World Development Indicator" (WDI) de la Banque Mondiale. La littérature montre que les taxes environnementales pourraient entraîner une augmentation du chômage (Yip *et al.* ; 2018) et des inégalités surtout pour les individus pour les individus moins éduqués et vulnérables. De plus, un taux de chômage élevé et l'inégalité peuvent réduire le bonheur de la population (Clark et Oswald; 1994). Nous contrôlons aussi pour l'existence des groupes de pression dans le secteur de l'énergie pouvant influencer l'introduction de prix du carbone et le niveau de bien-être de la population. En effet, le gouvernement d'un pays pourrait être confronté à une forte opposition de la part des industries et du secteur de la production d'électricité (Kang , 2016 ; Dolphin *et al.*, 2016 ; Harrison, 2013). Ces groupes de pression pourraient aussi émerger de la population si ces secteurs utilisant des sources d'énergie intensive en carbone emploient une grande partie de la population.

Tableau 28: Statistiques descriptives

Variable	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Obs
Signal du prix du carbone par secteurs (USD par tonne)					
Prix effectif du carbone (PEC)	45,193	48,241	1,762	165,333	42
Prix effectif du carbone (transport routier)	132,821	141,711	0	398,888	42
Prix effectif du carbone (secteurs résidentiels et construction)	11,931	17,086	0	95,308	42
Prix effectif du carbone (secteur agricole, forestier et de pêche)	40,208	70,581	0	261,808	42
Prix effectif du carbone (secteur de production d'électricité)	55,959	265,143	0	1934,621	42
Prix effectif du carbone (secteur industriel)	15,185	13,808	2,752	52,209	42
Prix effectif du carbone (secteur de transport aérien)	43,866	62,982	0,092	209,096	42
Données macroéconomiques					
Taxes sur les biens et services (% du PIB)	11,58	2,251	5,94	16,969	42
Taxes sur les propriétés (% du PIB)	1,628	1,046	0,294	4,172	42
Taxes sur le revenu et les profits (% du PIB)	11,176	4,595	6,351	31,669	42
Indice de Gini	30,555	3,354	24,9	36,3	42
Taux de chômage (%)	9,193	4,477	3,123	22,057	42
PIB par tête (USD 2010)	39287,741	18940,139	13224,572	89175,461	42
Taux de croissance du PIB par tête (USD 2010)	1,04	3,432	-8,997	23,986	42
Taux d'inflation	1,577	1,475	-1,144	5,652	42
Taux d'emploi vulnérable (%)	10,885	4,899	5,073	28,546	42
Niveau de dette (% du PIB)	81,947	32,862	13,169	150,654	42
Gouvernement de droite	32,265	31,078	0	100	42
Nombre de brevets sur le changement climatique	3151,739	5108,226	17,667	18606,427	42
Degré d'ouverture du compte de capital	0,963	0,114	0,449	1	42
Taux de change	15,081	54,255	0,634	286,63	42
Aide publique aux startup (%)	0,02	0,027	0	0,113	42
Index de développement financier	0,641	0,16	0,325	0,959	42
Réforme de flexibilité du marché du travail	0,665	0,377	0,088	2,052	42
Données microéconomiques					
Satisfaction de la vie	7,043	2,18	0	10	75732
Quartile du revenu	5,204	2,563	1	10	71854
Âge	48,869	18,664	14	114	75832
Nombre d'années d'éducation	12,698	4,061	0	50	75260
Marié	0,018	0,133	0	1	75942
Importance pour l'environnement	4,919	1,011	1	6	74552

Source : Fall (2020)

Nous utilisons la base de données de la Banque Mondiale (WDI) sur le pourcentage de production d'électricité provenant du charbon, du gaz naturel et du pétrole en pourcentage de la production totale d'électricité comme proxy de la puissance des groupes de pression dans le secteur d'électricité. La valeur ajoutée du secteur d'industrie sera utilisée comme proxy des groupes de pression du secteur industriel.

Enfin, une taxation optimale du carbone serait une taxe neutre en termes de revenu (McKittrick, 2016). En d'autres termes, le prix du carbone devrait s'accompagner d'une baisse des autres taxes ayant des effets de distorsion (FMI, 2019⁹³). Cependant, la taxe carbone peut conduire à des distorsions pour les firmes dans le marché des facteurs de production et aboutir à une réduction de l'offre de travail et de l'accumulation de capital. Par hypothèse, si la taxe carbone est neutre, il n'y devrait pas avoir d'effet du prix du carbone sur le bien-être. Les variables de taxe sur le revenu et le profit, sur les propriétés et le revenu du capital et les taxes indirectes ou sur les biens et services proviennent des statistiques de l'OCDE⁹⁴.

4. IMPACT DU SIGNAL DU PRIX DU CARBONE SUR LE BIEN-ÊTRE INDIVIDUEL

4.1 STRATÉGIE EMPIRIQUE

Dans cette partie, nous allons évaluer le coût de bien-être du prix du carbone. Y_{ict} représente la satisfaction à la vie de l'individu i , dans le pays c au temps t , ECT_{ct} étant le signal du prix du carbone, dans le pays c au temps t en dollar américain par tonne. Nous utilisons la spécification de De Neve *et al.* (2018) :

⁹³ Voir annexe : <https://www.imf.org/en/Publications/FM/Issues/2019/09/12/fiscal-monitor-october-2019>

⁹⁴ Voir le tableau pour la description des variables

$$Y_{ict} = \beta_1 ECT_{ct} + \beta_2 X_{ict} + \beta_3 Z_{ct} + \delta_c + tend_c + \varepsilon_{ict} \quad \text{Éq. 36}$$

où X_{ict} représente l'ensemble des variables de contrôle microéconomiques comme l'âge, le statut marital, le sexe, l'importance pour l'environnement, le nombre d'années d'éducation, Z_{ct} est le vecteur des variables macroéconomiques comme le taux d'inflation, le taux de chômage national et la croissance du PIB/tête, δ_c est le vecteur d'effets fixes, $tend_c$ est tendance spécifique à chaque pays et ε_{ict} , le terme d'erreur, δ_c permet de contrôler les caractéristiques hétérogènes inobservables dans chaque pays qui changent peu dans le temps comme la qualité des institutions, du système fiscal, la culture, etc. $tend_c$ permet de contrôler les hétérogénéités inobservables spécifiques à chaque pays entre les deux vagues d'enquête.

Notre coefficient d'intérêt est β_1 . Il permet de déterminer l'impact marginal du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif. Cependant, pour capter l'effet causal sur signal du prix du carbone, nous avons contrôlé pour l'attitude des individus pour l'environnement. En effet, la littérature montre qu'une relation existe entre l'environnement et la satisfaction à la vie (Silva *et al.*, 2012 ; Frey *et al.*, 2010) et l'environnement et les taxes environnementales (FitzRoy *et al.*, 2012). Ainsi, les préférences environnementales sont corrélées avec l'adoption du prix du carbone et le bien-être. Pour éviter le problème de l'endogénéité par les variables omises, nous avons introduit dans notre spécification l'importance de l'environnement pour l'individu comme proxy des préférences de l'environnement.

Notre avons déterminé l'effet du signal du prix du carbone issu de chaque secteur :

$$Y_{ict} = \sum_s \beta_s ECT_{ct} + \beta_2 X_{ict} + \beta_3 Z_{ct} + \delta_c + tend_c + \varepsilon_{ict} \quad \text{Éq. 37}$$

avec β_s l'ensemble des coefficients du signal du prix du carbone émis dans le secteur du transport routier, de l'aviation, de l'électricité, des industries, des secteurs de l'agriculture et de la pêche et enfin des secteurs résidentiels et de construction. Nous supposons qu'il pourrait exister un effet hétérogène du signal du prix du carbone dépendamment du secteur économique. Par exemple, la hausse du prix du carbone dans le secteur de l'électricité pourrait affecter directement plus d'individus.

4.2 RÉSULTATS DE BASE

Nous estimons l'équation 37 par les Moindres Carrés pondérés⁹⁵(MCO⁹⁶). Le tableau 29 montre que la hausse de 10 dollars par tonne de CO2 réduit le bien-être subjectif de 0.03 à 0.04 point sur une échelle de 10 suivant l'interprétation de Frey *et al.* (2009). Ce résultat est robuste à travers les différentes spécifications de la colonne 1 à la colonne 5. Cet effet sur le bien-être subjectif est important dans la mesure, l'augmentation de 10 dollars de la moyenne du prix du carbone est équivalente à la baisse du bien-être d'une unité pour 3% à 4% de la population. En effet, la hausse pourrait constituer un coût politique. Concernant les variables macroéconomiques, le taux de chômage national a un effet négatif et significatif sur le bien-être, par contre la croissance économique et l'inflation n'ont pas un impact dans notre étude.

⁹⁵ Dans les données d'enquête, le poids reflète la taille de l'échantillon par rapport à la population, pour que les échantillons soient comparables entre les pays. Pour plus de détails, voir la documentation de l'ESS

⁹⁶ La variable dépendante catégorielle est la satisfaction à la vie avec 10 niveaux. Ferrer-i Carbonell et Frijters (2004) montrent que les MCO et le probit ordonné sont équivalents. Donc les estimés issus des MCO sont plus facilement interprétables.

Tableau 29: Effet du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif

	Prix du carbone au niveau national					Prix du carbone par secteur				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
SPC (tonne/USD)	-0,004*** (0,002)	-0,004... (0,002)	-0,004*** (0,002)	-0,003+ (0,002)	-0,003+ (0,002)					
SPC (secteur routier)						0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,001+ (0,001)	0,002*** (0,000)
SPC (secteur résidentiel)						-0,019*** (0,007)	-0,019*** (0,007)	-0,027*** (0,007)	-0,016** (0,007)	-0,027*** (0,009)
SPC (secteur agricole)						0,002 (0,002)	0,002 (0,002)	-0,001 (0,002)	-0,001 (0,002)	-0,003 (0,002)
SPC (secteur de l'électricité)						0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000** (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000** (0,000)
SPC (secteur industriel)						-0,030*** (0,003)	-0,030*** (0,004)	-0,028*** (0,004)	-0,019*** (0,005)	-0,030*** (0,008)
SPC (secteur aviation)						-0,002*** (0,001)	-0,002*** (0,001)	-0,002*** (0,001)	-0,002+ (0,001)	-0,003*** (0,001)
Taux de croissance réel/tête		0,024... (0,004)			0,005 (0,006)		-0,001 (0,006)			-0,011 (0,008)
Inflation			-0,102** (0,042)		0,035 (0,045)			0,028 (0,050)		-0,008 (0,051)
<i>Inflation</i> ²			0,012 (0,011)		-0,007 (0,012)			-0,019 (0,012)		-0,011 (0,014)
Taux de chômage national				-0,090... (0,013)	-0,088... (0,020)				-0,050** (0,021)	-0,002 (0,037)
Variable muette Union Européenne	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Tendances spécifiques pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Observations	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732

Notes : Estimation de l'équation 24 par les MCO⁹⁷.

Source : Fall (2020)

Dans les colonnes 6 à 10, nous estimons l'équation 38 sur l'effet du signal du prix du carbone dans chaque secteur sur le bien-être. Nos résultats montrent que cet effet négatif du signal du prix du carbone est principalement à la hausse dans le secteur résidentiel, de la production de l'électricité, de l'industrie et de l'aviation. Nous avons trouvé un effet positif d'une hausse du prix du carbone sur le secteur de transport routier. Santos (2017) montrent que la réduction des émissions de carbone est plus coûteuse que les autres secteurs de l'économie, comme le secteur de l'électricité, parce que le secteur du transport continue d'être fortement associé à l'utilisation des énergies fossiles. Par contre, il n'y a pas d'effet significatif d'une hausse du prix du carbone dans le secteur de l'agriculture et de la pêche. Son impact sur la satisfaction à la vie est significatif mais faible dans le secteur de l'électricité. Le faible impact du secteur de la production d'électricité pourrait s'expliquer par le faible coût du prix du carbone dans

⁹⁷ La variable dépendante est le niveau individuel de satisfaction à la vie. Toutes les spécifications incluent les effets fixes individuels et les tendances spécifiques pays. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

ce secteur car il est couvert depuis 2013 principalement par les permis d'émission à 7.40 dollars par tonne en 2015.

En résumé, le tableau 29 nous montre une perte de bien-être résultant d'une hausse du prix du carbone. Cette baisse de bien-être vient de la hausse du prix dans le secteur de l'électricité, de l'industrie de l'aviation et du résidentiel. Par contre la population préfère que la hausse soit faite dans le secteur du transport routier, et les individus sont indifférents si l'augmentation s'est faite dans le secteur agricole.

4.3 TEST DE LA NON-LINÉARITE DU PRIX DU CARBONE

Nous avons estimé l'équation 39 pour tester la non-linéarité de l'impact du signal du prix du carbone sur le bien-être. En effet, le prix du carbone permet de réduire les coûts sociaux du changement climatique à long terme. Par conséquent, la population a conscience de l'intérêt positif d'une hausse du prix du carbone jusqu'à un certain seuil au-delà duquel les prix du carbone sont jugés excessifs. En d'autres termes, nous faisons l'hypothèse que le signal du prix du carbone est positif jusqu'à un certain seuil mais devient négatif sur le bien-être quand ce seuil est dépassé.

$$Y_{ict} = \beta_1 ECT_{ct} + \beta_1^1 ECT_{ct}^2 + \beta_2 X_{ict} + \beta_3 Z_{ct} + \delta_c + tend_c + \varepsilon_{ict} \quad \text{Éq. 38}$$

où ECT_{ct}^2 représente le signal du prix du carbone au carré. Nous supposons une relation en forme de U inversée c.-à-d. l'effet du prix du carbone est jugé supportable pour réduire les effets du réchauffement climatique jusqu'à un niveau au-delà duquel le signal du prix du carbone contemporain est jugé trop élevé selon les conditions macroéconomiques actuelles.

Tableau 30 : Effet non linéaire du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif

	(1)	(2)	(3)	(3)	(3)
Signal prix du carbone (t/USD)	0,0038 (0,0038)	-0,0003 (0,0039)	0,0039 (0,0039)	0,0048 (0,0039)	0,0047 (0,0038)
Signal prix du carbone au carré	-0,0001*** (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	-0,0001*** (0,0000)	-0,0001*** (0,0000)	-0,0001*** (0,0000)
Croissance PIB/tête	0,0230*** (0,0040)				0,001 (0,0063)
Inflation		-0,0945** (0,0424)			0,0276 (0,0452)
<i>Inflation</i> ²			0,0103 (0,0108)		-0,0054 (0,0115)
Taux de chômage national				-0,0894*** (0,0130)	-0,0947*** (0,0196)
Point de retournement					31,55075** (15,1353)
Muette Union Européenne	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Tendance spécifique pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Observations	75732	75732	75732	75732	75732

Notes : Estimation de l'équation 25 par les MCO⁹⁸.

Source : Fall (2020)

Le tableau 30 montre les résultats de l'estimation de l'équation 39. La colonne (5), en contrôlant pour toutes les variables, montre l'existence d'une non-linéarité de l'impact contemporain du prix du carbone sur le bien-être subjectif. Nous avons trouvé qu'à partir de 30 dollars par tonne mais n'est pas significatif.

L'hypothèse d'une non-linéarité de l'effet du prix du prix sur le bien-être subjectif est rejetée.

5. ROBUSTESSE

⁹⁸ La variable dépendante est le niveau individuel de satisfaction à la vie. Toutes les spécifications incluent les effets fixes individuels et les tendances spécifiques pays. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

Après avoir établi l'existence d'un coût de bien-être du prix du carbone, nous allons tester la robustesse de ce lien de différence manière. 1) Nous allons prendre en compte la nature cardinale de la variable de la satisfaction de la vie en proposant de la changer en variable continue. 2) Nous avons introduit d'autres variables pour prendre en compte le problème éventuel des variables omises pouvant influencer le lien entre le signal du prix du carbone et le bien-être subjectif.

Le tableau 31 montre les estimations du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif. Nous avons standardisé la variable de telle sorte que la moyenne soit égale à 0 et l'écart-type égal à 1 pour la rendre continue suivant les articles de De Neve *et al.* (2018) et Galiani *et al.* (2018). Les résultats sont similaires par rapport au tableau 24.

Dans le tableau 32, colonne 1, nous avons introduit des variables de contrôles individuelles comme l'âge, le statut marital, le sexe, le nombre d'années d'éducation, l'importance de l'environnement. Dans la colonne 3 nous avons ajouté les variables macroéconomiques de contrôle du tableau 29. Nos résultats montrent que le signal du prix du carbone reste robuste et l'impact sur le bien-être individuel devient deux fois plus important que les résultats du tableau.

Concernant les variables de contrôles microéconomiques, nous constatons que les hommes ont un niveau de bien-être plus faible que les femmes (Gerdtham et Johannesson, 2001), l'âge a un effet non-linéaire (en U) sur le bien-être (Alesina *et al.*, 2004), être conscient de l'importance de l'environnement à un effet positif et très significatif sur le bien-être. Les plus riches sont plus heureux par contre les mariés ont un bien-être plus faible (Hawkins et Booth, 2005).

Tableau 31: Effet du signal du prix du carbone sur le bien-être subjectif :
standardisation de la satisfaction à la vie

	Prix du carbone niveau national					Prix du carbone par secteur				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Signal prix du carbone (t/USD)	-0,002*** (0,001)	-0,002*** (0,001)	-0,002*** (0,001)	-0,001* (0,001)	-0,001* (0,001)					
Signal prix du carbone (secteur routier)						0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,000** (0,000)	0,001*** (0,000)
Signal prix du carbone (secteur résidentiel)						-0,009*** (0,003)	-0,009*** (0,003)	-0,013*** (0,003)	-0,008** (0,003)	-0,013*** (0,004)
Signal prix du carbone (secteur agricole)						0,001 (0,001)	0,001 (0,001)	-0,000 (0,001)	-0,001 (0,001)	-0,001 (0,001)
Signal prix du carbone (secteur de l'électricité)						-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)
Signal prix du carbone (secteur industriel)						-0,014*** (0,002)	-0,015*** (0,002)	-0,014*** (0,002)	-0,010*** (0,002)	-0,015*** (0,004)
Signal prix du carbone (secteur aviation)						-0,001** (0,000)	-0,001** (0,000)	-0,001** (0,000)	-0,001 (0,000)	-0,001** (0,000)
Taux de croissance réel du PIB/ête		0,011*** -0,002			0,002 -0,003		-0,000 (0,003)			-0,005 (0,003)
Inflation			-0,048** -0,019		0,014 -0,02			0,009 (0,022)		-0,007 (0,023)
Inflation ²			0,006 -0,005		-0,002 -0,005			-0,007 (0,005)		-0,004 (0,006)
Taux de chômage national				-0,040*** -0,006	-0,042*** -0,009				-0,021** (0,009)	0,001 (0,017)
Muette Union Européenne	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Tendance spécifique pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Observations	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732	75732

Notes : Estimation de l'équation 24 par les MCO⁹⁹. La variable dépendante est le niveau individuel standardisé de satisfaction à la vie avec sa moyenne égale à 0 et son écart-type égale à zéro.

Source : Fall (2020)

⁹⁹ Toutes les spécifications incluent les effets fixes individuels et les tendances spécifiques pays. La standardisation de la variable dépendante signifie que la satisfaction à la vie est une moyenne de zéro et un écart-type de 1. Le secteur résidentiel inclut aussi le secteur de la construction. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. * p < 0,10, ** p < 0,05, *** p < 0,01.

Tableau 32: Effet du signal du prix du carbone sur le bien-être : variables additionnelles¹⁰⁰

	Variables microéconomiques				Autres variables microéconomiques				Toutes les variables de contrôle			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
SPC (n:USD)	-0,006*** (0,001)	-0,007*** (0,001)			-0,003*** (0,002)	-0,003** (0,001)			-0,005*** (0,002)	-0,004*** (0,001)		
SPC (secteur routier)			0,001** (0,000)	0,001** (0,000)			0,000 (0,001)	0,001 (0,001)			0,001 (0,001)	0,002** (0,001)
SPC (secteur résidentiel)				-0,029*** (0,006)			-0,014 (0,019)	-0,002 (0,019)			-0,016 (0,014***)	-0,037*** (0,010**)
SPC (secteur agricole)				-0,001 (0,006)			-0,005 (0,003)	-0,012*** (0,005)			-0,018 (0,005)	-0,014 (0,004)
SPC (secteur de l'électricité)				-0,001 (0,002)			-0,001*** (0,003)	-0,000 (0,005)			0,000 (0,005)	-0,000** (0,004)
SPC (secteur industriel)				-0,021*** (0,000)			-0,025*** (0,000)	-0,012 (0,000)			0,003 (0,000)	-0,005 (0,000)
SPC (secteur aviation)				-0,002*** (0,003)			-0,001 (0,005)	0,002 (0,009)			0,002 (0,009)	0,001 (0,008)
Age ²	0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)					0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)	0,001*** (0,000)
Age	-0,083*** (0,006)	-0,083*** (0,006)	-0,083*** (0,006)	-0,083*** (0,006)					-0,084*** (0,006)	-0,084*** (0,006)	-0,084*** (0,006)	-0,084*** (0,006)
Nbr d'années d'éducation	0,028*** (0,004)	0,028*** (0,004)	0,028*** (0,004)	0,029*** (0,004)					0,029*** (0,004)	0,029*** (0,004)	0,029*** (0,004)	0,029*** (0,004)
Marié	-0,284** (0,127)	-0,290** (0,127)	-0,292** (0,126)	-0,291** (0,126)					-0,283** (0,130)	-0,284** (0,130)	-0,284** (0,130)	-0,284** (0,130)
Importance de l'environnement	0,156*** (0,018)	0,154*** (0,018)	0,153*** (0,018)	0,153*** (0,018)					0,154*** (0,019)	0,154*** (0,019)	0,153*** (0,019)	0,153*** (0,019)
Catégorie de revenu	0,109*** (0,007)	0,107*** (0,007)	0,106*** (0,007)	0,107*** (0,007)					0,106*** (0,008)	0,106*** (0,008)	0,106*** (0,008)	0,106*** (0,008)
Homme	-0,102*** (0,031)	-0,101*** (0,031)	-0,101*** (0,031)	-0,101*** (0,031)					-0,091*** (0,033)	-0,092*** (0,033)	-0,092*** (0,033)	-0,092*** (0,033)
Taux de croissance du PIB/tête		-0,014* (0,008)		-0,021** (0,010)	-0,003 (0,018)		0,018 (0,020)		-0,028 (0,017)	-0,028*** (0,011)	0,019 (0,021)	-0,019 (0,013)
Inflation		-0,027 (0,046)		0,002 (0,057)	-0,018 (0,061)		-0,01 (0,066)		0,161*** (0,062)	0,041 (0,050)	0,030 (0,076)	0,057 (0,066)
Inflation ²		0,013 (0,046)		0,002 (0,057)	-0,014 (0,061)		-0,01 (0,066)		-0,028** (0,062)	-0,016 (0,050)	-0,016 (0,076)	-0,017 (0,066)
Taux de chômage national		-0,107*** (0,009)		-0,046* (0,011)	-0,042** (0,012)		-0,032 (0,012)		0,019 (0,013)	0,003 (0,009)	0,018 (0,014)	0,071 (0,012)
Log valeurs ajoutées industrielles (USD)					0,322 (0,020)	-0,993 (0,848)	-0,587 (1,482)	-2,786** (1,615)	-0,215 (0,937)		-2,790** (1,398)	
Part de production électricité provenant d'énergie fossile					0,007 (0,870)	0,015 (0,848)	-0,005 (1,482)	0,029 (1,615)	-0,027** (0,937)		0,009 (1,398)	
Taxes indirectes (% du PIB)					-0,221 (0,014)	-0,247 (0,014)	(0,374) (0,019)	(0,384) (0,024)	-0,204 (0,014)	-0,122 (0,065)	(0,248) (0,016)	-0,136 (0,533***)
Taxes sur la propriété (% du PIB)					1,010*** (0,158)	0,813*** (0,220)	-0,137 (0,208)	0,33 (0,225)	1,182*** (0,245)	1,007*** (0,201)	1,179*** (0,371)	1,313*** (0,376)
Taxes sur le revenu (% du PIB)					0,081*** (0,020)	-0,022 (0,036)	0,305*** (0,067)	0,007 (0,103)	0,035 (0,037)	-0,006 (0,035)	-0,095 (0,094)	0,032 (0,075)
Indice de Gini					0,056* (0,031)	-0,055 (0,044)	-0,011 (0,047)	-0,110** (0,049)	-0,094 (0,068)	-0,108* (0,065)	-0,311*** (0,119)	-0,372*** (0,125)
Membre Union Européenne	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Tendance spécifique pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Observations	69772	69772	69772	69772	68602	68602	68602	68602	62766	62766	62766	62766

Source : Fall (2020)

¹⁰⁰ Notes : La variable dépendante est le niveau individuel de satisfaction à la vie. Toutes les spécifications incluent les effets fixes individuels et les tendances spécifiques pays. La standardisation de la variable dépendante signifie que la satisfaction à la vie est une moyenne de zéro et un écart-type de 1. Le secteur résidentiel inclut aussi le secteur de la construction. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

D'une part, l'impact causal du signal sur le bien-être peut être influencé par des variables de contrôle captant le niveau d'industrialisation du pays et de l'importance de sources de charbon, de gaz naturel et pétrole dans la production d'électricité. La littérature de politique économique montre l'importance des groupes de pression dans l'introduction de taxe de carbone (Kang, 2016 ; Dolphin *et al.*, 2016), Harrison, 2013). Pour renforcer la robustesse de l'effet du prix du carbone, nous avons introduit le logarithme de la valeur ajoutée du secteur industriel comme proxy du groupe de pression du secteur industriel et le pourcentage des sources de charbon, de pétrole et de gaz naturel dans la production de l'électricité au niveau national comme proxy des groupes de pression du secteur de l'électricité.

D'autre part, le prix du carbone est une forme d'une nouvelle taxation. Cette taxation pourrait être positive en réduisant les autres niveaux de taxes qui ont des effets de distorsion pour l'économie. Le prix du carbone a aussi éventuellement des effets négatifs en augmentant les coûts de production du capital et du travail provoquant une baisse de l'offre du travail et de l'accumulation du capital (Pattillo *et al.*, 2019). Les taux de taxation du pays en pourcentage du PIB (taxes sur les biens et services, taxe sur le revenu et les profits et enfin taxes sur les propriétés et les revenus du capital) proviennent des statistiques de l'OCDE. Nous avons aussi pris en compte l'inégalité de revenu en utilisant l'index de Gini (WDI).

Le tableau 32 montre qu'à travers toutes spécifications, l'impact du prix du carbone reste négatif et significatif sur le bien-être individuel. Par contre, lorsque nous contrôlons pour le niveau de taxation et les groupes de pression du secteur de l'énergie, l'effet négatif du signal du prix du carbone sur le bien-être est principalement dû à la hausse du prix du carbone dans le secteur de l'agriculture. Les coefficients du prix du carbone restent négatifs sur le bien-être dans le secteur de l'électricité, de l'industrie et l'aviation mais ne sont plus significatifs comparativement au tableau 29.

6. EFFETS SUR LE BIEN-ÊTRE DU PRIX DU CARBONE POUR LES PERSONNES OU SECTEURS VULNERABLES ET POLITIQUES D'ACCOMPAGNEMENT

6.2 STRATÉGIE EMPIRIQUE

Dans cette section, nous allons étudier l'impact du prix du carbone sur les populations vulnérables et le rôle des conditions macroéconomiques dans le coût de bien-être du prix du carbone. Nous allons aussi évaluer les politiques d'accompagnement pour atténuer les effets négatifs du prix du carbone sur la satisfaction à la vie.

Nous allons utiliser la spécification suivante :

$$Y_{ict} = \beta_1 ECT_{ct} + \alpha_1 ECT_{ct} * X + \beta_2 X_{ict} + \beta_3 Z_{ct} + \delta_c + tend_c + \varepsilon_{ict} \quad \text{Éq. 39}$$

avec X représentant les politiques macroéconomiques accompagnatrices ou conditions macroéconomiques défavorables au prix du carbone. Plus précisément, α_1 est le coefficient d'interaction qui s'interprète de la manière suivante :

- Si $\alpha_1 > 0$: **effet d'atténuation** : l'impact du prix du carbone sur le bien-être β_1 sera atténué par $\alpha_1 > 0$
- Si $\alpha_1 < 0$: **effet d'amplification** : l'impact du prix du carbone sur le bien-être β_1 sera amplifié par conditions macroéconomiques défavorables par $\alpha_1 < 0$.

Ainsi, nous avons ajouté des variables macroéconomiques X comme le taux d'emploi vulnérable (en pourcentage) représentent la part des emplois dits vulnérables sur les emplois totaux. Un emploi est vulnérable selon la définition de la Banque Mondiale s'il s'agit d'un travailleur indépendant. Ce type d'emploi est risqué car il est

sensible aux fluctuations économiques et aux politiques fiscales. Cette variable vient de WDI de la Banque Mondiale.

Le taux d'endettement est la part de la dette sur le PIB en pourcentage. Il s'agit de la dette publique contractée par le gouvernement. Ces données sont issues de la base de données "Comparative Political Data Set (CPDS)". Le FMI (Pattillo *et al.*, 2019) suggère que le revenu des taxes de carbone pourrait être utilisé pour réduire la dette afin d'aider les générations futures.

L'orientation politique du gouvernement permet d'approximer les orientations économiques et politiques du gouvernement. Cette variable représente nombre de sièges des parties politiques de droites par rapport au nombre de sièges totaux. C'est une base de données venant de "Comparative Political Data Set (CPDS)".

Réforme de flexibilité du marché du travail (ALMP) désigne l'aide en pourcentage du PIB pour rendre le marché du travail plus flexible ("Comparative Political Data Set (CPDS)"). Le nombre de brevets sur le changement climatique est utilisé dans notre étude comme un proxy de l'état technologique d'un pays relatif à la transition économique vers une économie à faible émission. Nous supposons qu'un signal de prix du carbone est positif dans les pays où le nombre de brevets déposés y est élevé. Cette variable provient des statistiques de l'OCDE. Le développement financier est une variable comprise entre 0 et 1, mesurant l'accès, l'efficacité et la profondeur du secteur financier. Plus l'indice du développement financier est proche de 1, plus le pays possède un niveau de développement financier élevé. Nous faisons l'hypothèse que le signal du prix du carbone est positif dans les pays financièrement développés. Les entreprises et les ménages pourraient mieux s'adapter à la hausse du prix du carbone. Cette variable est extraite de la base de données du FMI (International Financial Statistics-IFS).

L'aide aux entreprises pour la création d'entreprise est une aide publique ou privée en % du PIB mesurant le support du privé ou du public afin de faciliter la création d'une nouvelle entreprise. L'effet du signal du prix du carbone sur le bien-être pourrait plus positif si le pays supporte les entreprises à faible émission de carbone. L'ouverture du compte de capital et le taux de change de monnaie locale vers le dollar américain représentent l'impact du signal du prix du carbone selon le régime de change¹⁰¹.

Nous supposons que la dépréciation du taux de change de l'euro par rapport au dollar américain amplifie l'effet négatif du prix du carbone sur le bien-être, par le canal d'une hausse du prix des énergies. L'ouverture du capital courant provient des données de la Banque Mondiale (WDI), le taux de change des statistiques de l'OCDE. La provenance et la définition des variables sont résumées dans le tableau 30 en annexe C.

6.3 RÉSULTATS

Le tableau 33 représente les résultats de l'équation 40. Les colonnes 1 à 5 montrent l'effet du prix du carbone par rapport au niveau de vulnérabilité de la population ou des pays alors que les colonnes 6 à 11 se focalisent sur les politiques d'accompagnement pour réduire l'effet négatif du prix du carbone. La colonne 1 montre qu'il n'y a pas d'effet du prix du carbone différent selon la catégorie de revenu. En d'autres termes, les individus les plus pauvres de notre échantillon ne sont pas les plus touchés en termes de bien-être par rapport aux individus les plus riches.

La colonne 2 et 3 montrent le rôle de l'état du marché du travail sur l'effet du prix du carbone sur le bien-être subjectif ou la satisfaction à la vie. La colonne 2 nous

¹⁰¹ Les prix du charbon et du pétrole sont échangés en dollar américain le gaz naturel est importé principalement de la Russie et est échangé en euro. Par conséquent, le prix du gaz naturel n'est pas affecté par le taux de change dans les pays de la zone euro sauf la Suisse

renseigne que le taux de chômage a un effet amplificateur de l'impact négatif du prix du carbone sur le bien-être.

Tableau 33: Politiques d'accompagnement pour réduire le coût du signal du carbone sur le bien-être subjectif

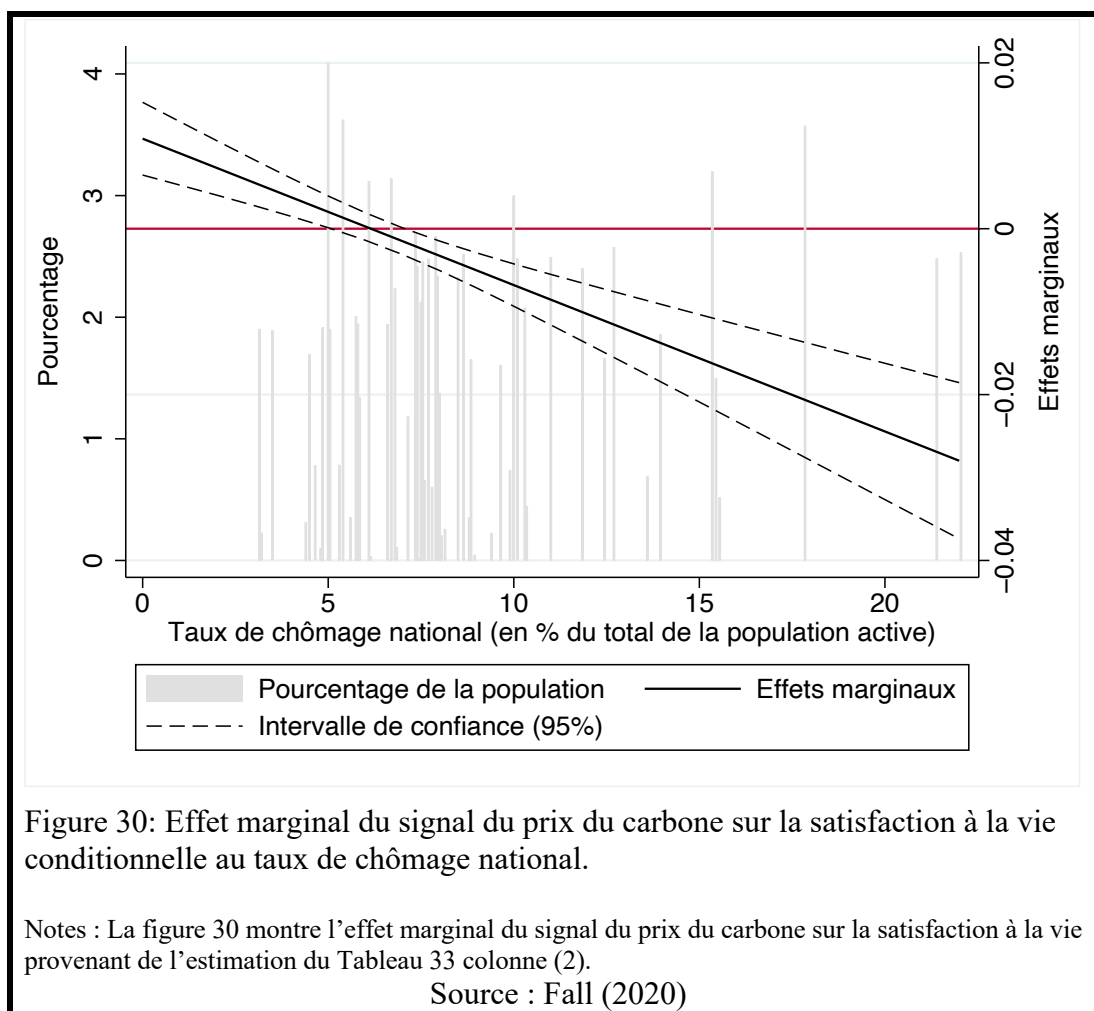
	Effets sur la population vulnérable					Politiques d'accompagnement					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
SPC (t/USD)	-0,0061*** (0,0015)	0,0109*** (0,0022)	0,0238*** (0,0043)	0,0286*** (0,0062)	-0,0074*** (0,0014)	-0,015*** (0,003)	-0,147*** (0,030)	-0,007*** (0,001)	-0,015*** (0,003)	-0,046*** (0,011)	-0,003+ (0,002)
Revenu*SPC	-0,0002 (0,0001)										
Taux de chômage*SPC		-0,0013*** (0,0003)									
Taux d'emploi vulnérable*SPC			-0,0023*** (0,0004)								
Taux d'emploi vulnérable			0,1360*** (0,0477)								
Taux d'endettement*SPC				-0,0003*** (0,0001)							
Taux d'endettement (% du PIB)				0,0279*** -0,0066							
Gouvernement de droite*SPC					-0,000 (0,000)						
Gouvernement de droite					0,0050*** (0,0015)						
Nbre de brevets (unité 1000)*SPC						0,002*** (0,001)					
Nbre de brevets						-0,272+ (0,126)					
Ouverture du compte de capital*SPC							0,141*** (0,030)				
Degré d'ouverture du compte de capital							-5,904*** (1,157)				
Taux de change *SPC								-0,001+ (0,000)			
Taux de change (unité monnaie national/USD)								-0,014+ (0,006)			
Aide entreprise* SPC									0,382*** -0,066		
Aide à la création d'entreprises (% du PIB)										15,345*** (4,972)	
Développement financier*SPC											0,052*** (0,014)
Indice de développement financier											-2,112 (1,828)
Aide au reforme marché du travail*SPC											-0,004 (0,004)
Aide au reforme marché du travail (% du PIB)											-1,948*** (0,392)
Membre Union Européenne	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Tendance spécifique pays	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Variables macroéconomiques	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Variables microéconomiques	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Observations	69772	69772	69772	69772	64899	67894	69772	67894	60152	67894	68203

Notes : Estimation de l'équation 40 par les MCO¹⁰².

Source : Fall (2020)

¹⁰² La variable dépendante est le niveau individuel de satisfaction à la vie. Toutes les spécifications incluent les effets fixes individuels et les tendances spécifiques pays. Les variables de contrôle macroéconomiques incluent la croissance du PIB/tête réel, le taux de chômage national, le taux d'inflation et le taux d'inflation au carré. Pour les variables microéconomiques, nous avons inclus l'importance pour l'environnement, le statut marital, l'âge, l'âge au carré, le nombre d'années d'éducation et le sexe. Le taux d'emploi vulnérable est par rapport au taux d'emploi total. Les brevets sont des inventions des résidents d'un pays relatifs au changement climatique. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

La figure 30 retrace l'impact total du prix du carbone sur le bien-être selon le taux de chômage. Elle montre que si le taux de chômage est inférieur 6,15%, l'effet du prix du carbone est positif sur le bien-être mais reste décroissant avec le taux de chômage.



Par contre, lorsque le taux de chômage est supérieur 6,15%, l'effet du prix du carbone devient négatif et amplifié avec la hausse du taux de chômage. Ce résultat

montre que la hausse du prix du carbone dans les pays à taux de chômage élevé¹⁰³ a un coût politique plus important. Du point de vue individuel, les taxes environnementales affectent les individus sans emploi d'une part car elle réduit leur probabilité que ces chômeurs soient embauchés.

La colonne 3 montre l'impact des emplois vulnérables sur le bien-être. Nos résultats sont similaires à ceux du taux de chômage. Pour un taux d'emploi de moins de 10,35%, l'effet du prix du carbone est positif mais décroissant avec le niveau du taux d'emploi vulnérable. Si le taux est supérieur à 10,35%, l'effet du prix du carbone devient négatif sur le bien-être. Ces résultats sont cohérents avec le papier de Yip *et al.* (2018). Ces auteurs montrent que les taxes environnementales notamment la taxe de carbone en Colombie-Britannique influencent négativement le taux de chômage surtout pour les travailleurs les moins éduqués. Ces travailleurs se réorientent vers des emplois à temps partiels et vulnérables ou d'autres sont découragés et quittent le marché du travail. Dans les pays industrialisés et dépendant des énergies fossiles, la transition vers des économies à faible émission de carbone peut susciter des craintes sur le marché du travail surtout pour les pays à chômage élevé.

La colonne 4 montre rôle de la dette du gouvernement sur l'impact du prix du carbone sur le bien-être. L'utilisation du revenu de la taxe carbone peut aider à réduire la dette pour les générations futures. L'instauration d'une taxe carbone pour être bénéfique sur le bien-être individuel si le revenu de cette taxe est utilisé pour réduire la dette. Nous avons trouvé que pour niveau de dette inférieur à 94% (voir la figure 31), le signal du prix du carbone est positif sur la satisfaction à la vie mais décroissant avec le niveau de dette sur le PIB.

Par contre, dans les pays où le taux d'endettement est au-delà de 94%, le signal du prix du carbone devient négatif. Ces résultats nous montrent dans les pays à taux

¹⁰³ Le graphique 52 montre que les pays scandinaves et la Suisse avec des taux de chômage plus faibles ont des niveaux de prix du carbone plus élevés.

d'endettement élevé, la mise en place de taxe carbone entraine un coût de bien être plus élevé. La crédibilité du signal du prix du carbone est conditionnelle à la discipline budgétaire du pays.

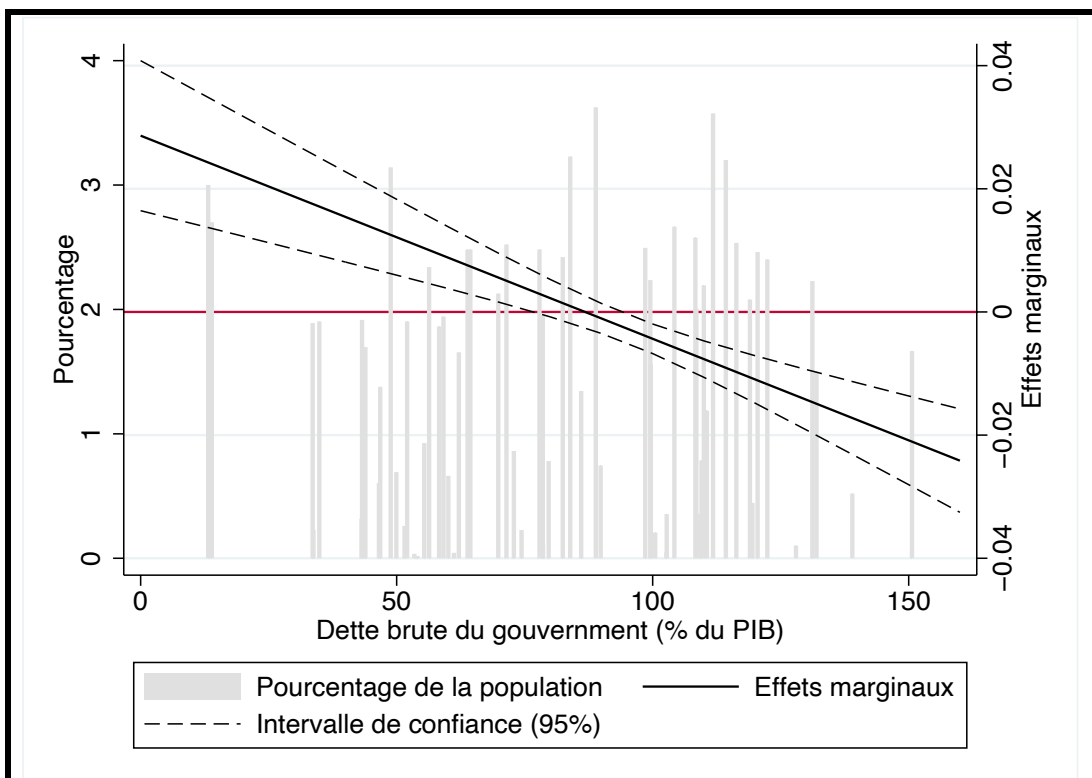


Figure 31: Effet conditionnel du taux d'endettement sur le prix du carbone

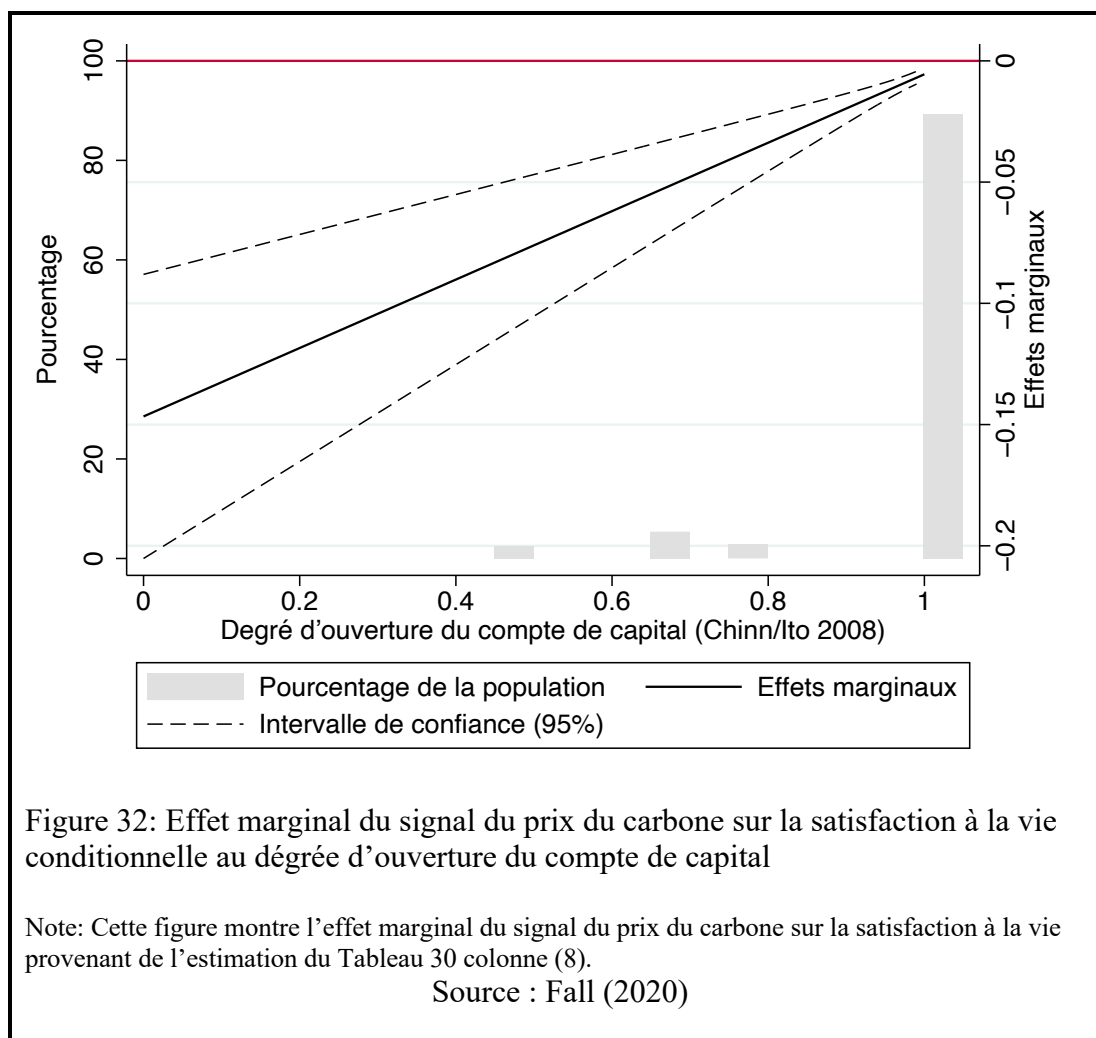
Notes : Cette figure montre l'effet marginal du signal du prix du carbone sur la satisfaction à la vie provenant de l'estimation du Tableau 33 colonne (4).

Source : Fall (2020)

Dans la colonne 5, nous avons testé l'impact de l'orientation politique du gouvernement sur le prix du carbone. Nous avons considéré le pourcentage de sièges détenus par les partis de droite sur le nombre de sièges totaux comme proxy du conservatisme du gouvernement. Nos résultats montrent l'orientation politique du gouvernement en place n'a pas d'influence sur le bien-être subjectif.

Les colonnes 6 à 11 montrent l'interaction entre les politiques macroéconomiques et le signal du prix du carbone sur bien-être. À la base, les prix du carbone est un signal pour les nouvelles entreprises et la population que le pays veut se tourner vers une économie à faible émission de carbone.

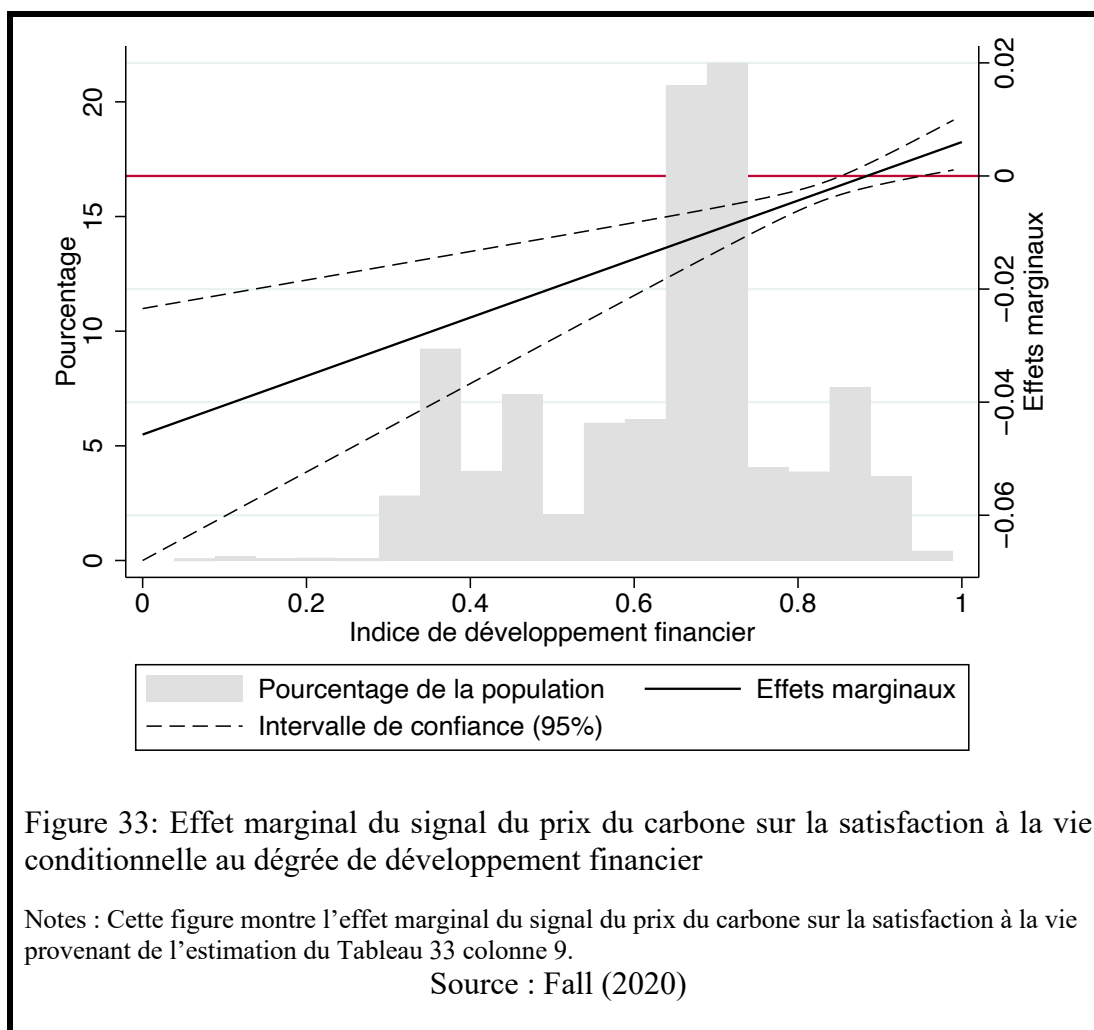
La colonne 6 montre que le nombre de brevets déposés relatif au changement climatique permet de réduire le coût de bien-être du prix du carbone. En effet, le nombre de brevets déposés est un signal que le pays a atteint une capacité technologique pour une réduction des émissions de CO₂. Dans ce cas, le nombre de brevets permet d'envoyer le signal que les taxes de carbone vont servir efficacement à réussir la transition économique. En termes d'anticipation, le nombre de brevets pourraient être un signal d'une réduction future des taxes du carbone vu que les entreprises et la population seraient moins dépendantes des énergies fossiles dans le futur.



Les colonnes 7 et 8 sont relatifs respectivement à l'ouverture du compte de capital et au régime de change. Nos résultats montrent que l'ouverture du compte de capital permet de réduire l'effet négatif du signal du prix du carbone sur le bien-être (figure 32). De plus, la colonne 8 montre que l'appréciation de la monnaie locale par rapport au dollar permet d'atténuer le coût de bien-être du prix du carbone. L'explication du rôle du taux de change peut s'expliquer dans le marché de l'énergie et les permis d'émission de carbone. Yu et Mallory (2014) montrent que le degré d'exposition du prix du carbone dépend du degré de substitution entre le charbon, gaz naturel et les crédits carbone. En effet, dans le Système d'Échange de Quotas d'Émission de l'Union Européenne, le prix du charbon est libellé en dollar américain.

Le gaz naturel principalement provenant de la Russie est libellé en euro. Le prix du crédit du carbone dans le marché de l'énergie dépend de l'écart entre le prix du carbone et le prix du gaz naturel. Or dans le cas d'une dépréciation de la monnaie nationale c.-à-d. de l'euro par rapport au dollar américain, le prix du charbon augmente alors que le prix du gaz naturel reste neutre. Alors l'effet du taux de change sur le prix du carbone va dépendre du degré de substituabilité entre le gaz naturel et le charbon dans les industries et dans le secteur de la production d'électricité. Ainsi, dans les pays dépendant du charbon, une dépréciation de la monnaie accentue le coût en bien-être du prix du carbone.

La colonne 9 montre le rôle de l'aide publique ou privée à la création d'entreprise sur le prix du carbone. En effet, la transition vers une économie plus verte pourrait s'accompagner d'une destruction de firmes à forte émission de carbone. Dans ce cas, l'aide de l'État pour la création de nouvelles entreprises à faible émission de carbone pourrait constituer un signal positif pour les individus sur l'efficacité de la taxe carbone. Nos résultats montrent que l'aide publique ou privée à la création atténue le coût en bien-être du signal du prix du carbone.



Dans la colonne 10, nous avons testé l'impact du développement financier sur l'effet du prix du carbone sur bien-être. Cette variable est une synthèse entre la profondeur, l'accès et l'efficacité du marché financier et des banques. Nos résultats montrent qu'un développement financier plus important atténue l'impact négatif du prix du carbone sur le bien-être. De plus, selon la figure 33, dans les pays, le développement financier, atténue totalement le coût en bien-être du prix du carbone s'il est supérieur à 9. Ce résultat est cohérent avec celui de Campiglio (2016). Ces auteurs montrent que les revenus du prix du carbone peuvent être insuffisants pour inciter les entreprises à investir dans les secteurs à faible émission de carbone à cause des défaillances de marché. Le rôle de la banque centrale est alors important pour aider

les entreprises à avoir accès au crédit avec une série de politiques monétaires comme la baisse des taux d'intérêt. Au niveau des populations plus exposées comme les chômeurs, l'accès à des crédits bancaires pour permettre d'atténuer le coût en bien-être du prix du carbone. Dans la colonne 11, nous avons testé l'impact d'aide publique pour rendre plus flexible le marché du travail. Nous n'avons pas trouvé d'effet significatif sur le prix du carbone dans notre étude.

7 CONCLUSION

Face au changement climatique, les pays se sont engagés à réduire leur émission de CO₂ afin de limiter la hausse des températures en dessous de 2° C dans le cadre des Accords de Paris. Selon le FMI, les pays devraient atteindre un prix du carbone de 75\$ d'ici 2030 pour limiter les catastrophes naturelles et économiques résultant de la hausse de la température globale. Cependant, les pays de l'Annexe 1 sont en retard dans la mise en place du prix du carbone. Ce retard pourrait être dû aux coûts politiques associés à la taxation environnementale.

Dans notre chapitre, nous avons évalué les coûts en bien-être du prix de la taxe carbone pour la population de 21 pays européens membres de l'OCDE en 2012 et 2015. Nos résultats montrent que la hausse de la taxe carbone est associée à une perte de bien-être subjectif. Cet effet négatif provient de la hausse des prix du carbone dans le secteur de l'agriculture et dans une moindre mesure dans les secteurs de l'industrie, de l'électricité et de l'aviation. L'impact négatif du prix du carbone sur le bien-être est amplifié en période de chômage, de taux d'endettement élevé et de dépréciation de l'euro par rapport au dollar. Dans ce contexte, des politiques d'accompagnement sont nécessaires pour accompagner la population vulnérable à adopter le prix du carbone. Les politiques monétaires favorisant l'accès au financement bancaire, des politiques de change pour réduire la dépréciation de la monnaie, les politiques d'aide à la création d'entreprise pourraient être des politiques d'atténuation afin d'atteindre une économie à émission faible de CO₂. En contrôlant pour les autres taxes, nos résultats montrent

que la hausse de la taxe du carbone n'est pas neutre. Le prix du carbone affecte de manière durable le marché du travail et les habitudes de consommation. Donc la crédibilité du prix du carbone est primordiale pour une transition vers une économie plus verte. Cette crédibilité est renforcée par l'état technologique actuel du pays, la discipline budgétaire, un taux de chômage faible et une politique sociale pour aider les populations vulnérables.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Devant les enjeux environnementaux et climatiques, les gouvernements et les institutions internationales sont en alertes pour développer des politiques environnementales afin de préserver l'environnement et de réduire les effets du changement climatique. Les impacts du changement climatique sur le plan économique, social, sanitaire et humain sont très élevés. Il est urgent de repenser notre système économique actuel vers une économie plus verte. Parmi les politiques prioritaires, nous avons la préservation de la forêt à cause de son rôle de séquestration du carbone et la mise en place d'une taxe carbone pour réduire les émissions de carbone dans l'atmosphère. La réussite de ces politiques passe par leur acceptation par la population d'une part et la minimisation de leurs impacts sur le bien-être de la population d'autre part.

De ce fait, notre thèse répond à ces problématiques en promouvant l'évaluation du paysage forestier comme un substitut à la récolte de bois et en évaluant les impacts de la mise en place d'une augmentation du prix du carbone sur le bien-être de la population.

Le chapitre 1 évalue l'impact des supports visuels illustrant les scénarios d'amélioration du paysage sur les préférences des individus et sur la VAP pour améliorer l'esthétique du paysage. En utilisant une enquête de choix expérimentaux de 998 individus sélectionnés aléatoirement parmi la population générale du Québec âgée de plus de 18 ans, nos résultats révèlent que les photos réduisent l'effet des attributs correspondant à l'esthétique du paysage sur la préférence des individus. La première implication de ce résultat s'articule autour du fait que les scénarios décrits uniquement par des textes peuvent aboutir à une surestimation des résultats. De plus, nous avons aussi évaluer l'impact des couleurs de photos (été/automne) sur la préférence des individus. Nos résultats montrent que la photo prise en automne améliore positivement l'effet des attributs sur la préférence des individus par rapport à la photo prise en été.

En termes de recommandations, ce chapitre encourage l'utilisation des photos pour que l'individu puisse identifier concrètement les changements du paysage de la zone d'étude que le chercheur veut transmettre aux répondants. La photo permet donc d'éviter que l'individu fasse sa propre image fictive du paysage selon son expérience, ses émotions etc.

Dans notre deuxième chapitre, en combinant une base de données unique de choix expérimentaux sur l'évaluation de l'esthétique du paysage au Québec avec les données géospatiales du Résultat du 5e inventaire et de la cartographie écoforestière du Québec, nous avons identifié les différentes unités du paysage à valeurs élevées dans notre site d'étude et évalué l'interaction de ces valeurs avec la présence de sites touristiques et les travaux sylvicoles. Nous avons trouvé que les unités du paysage à valeurs élevées sont très peu corrélées avec les zones récréatives et les coupes forestières sont très peu pratiquées dans ces zones. Nous recommandons au MFFP de considérer la valeur du paysage dans les stratégies de planification forestière afin de bien délimiter les zones à protéger et les types de coupes forestières à effectuer pour maintenir la valeur visuelle du paysage. Notre étude est exportable dans les autres régions du Québec puisque les données géospatiales sont disponibles pour toute la province.

La chapitre 3 répond aux problématiques de l'incertitude dans les modèles de choix expérimentaux. En effet, si l'individu n'est pas familier avec le bien évalué, il se peut qu'il soit incertain sur l'alternative à choisir lors de l'évaluation de bien non marchand. La littérature psychologique montre que ces individus incertains limitent ou ignorent une partie de l'information pour faire leur choix. Notre objectif est alors d'établir une stratégie empirique qui combine le niveau de certitude et la fréquence de non-considération des attributs du répondant pour obtenir la VAP la moins biaisée possible. En développant un modèle pondéré où le poids empirique de la réponse de chaque individu est dépendant de la variabilité des réponses certaines, de la fréquence de non-considération des attributs et du niveau de certitude de l'individu, nous avons

montré que les VAP pour améliorer l'esthétique du paysage sont surestimées. Nous avons recommandé aux chercheurs de réduire la fréquence de non-considération des attributs en améliorant la compréhension du bien à évaluer, réduire la longueur du questionnaire et la complexité des ensembles de choix.

Dans le chapitre 4, nous avons évalué le rôle des photos dans la réduction de la complexité des ensembles de choix. En utilisant un modèle à paramètre d'échelle, nous avons montré les photos prises en automne et en été diminuent la probabilité que les ensembles de choix soient complexes par rapport à l'absence de photo. Par contre, les photos d'été n'ont aucun effet sur la précision des choix par rapport à l'absence de photo pour les individus. Les recommandations de ce chapitre se résume à la mise en garde du choix de la photo et de la saison dans laquelle la photo a été prise pour illustrer le paysage.

Dans le chapitre 5, nous avons évalué l'impact du prix du carbone sur le bien-être de la population. En effet, les institutions internationales s'alarment sur la faiblesse du prix de carbone pratiqué dans les pays car il est loin de l'objectif des Accords de Paris. Cependant, il y a arbitrage à faire entre accélérer l'augmentation du prix de carbone et éviter les coûts politiques pouvant émaner à une crise sociale. En utilisant la satisfaction à la vie comme proxy du bien-être individuel, nous avons montré que le prix du carbone a un effet négatif sur le bien-être de la population plus particulièrement en période de chômage et d'endettement élevé. Nous recommandons d'accompagner l'accélération du prix du carbone par des politiques d'accompagnement qui visent en priorité les populations les plus vulnérables. Nous pouvons noter cependant quelques limitations au niveau de ma thèse. Dans le chapitre 2, pour identifier les unités de paysage à valeurs élevées, notre méthodologie ne prend pas compte la topologie, l'accès à la zone et l'avant et l'arrière-plan. Nous pensons qu'avec l'analyse focale consistant à évaluer le paysage à 360 degrés, nous avons pu limiter cette faiblesse méthodologique en considérant que la valeur du paysage dans une unité dépend aussi de la valeur du paysage autour de l'individu. Dans le chapitre 3, nous avons fait un test

de cohérence pour déterminer la précision des choix selon la fréquence de non-considération des attributs et le niveau de certitude. Cependant, pour valider le rôle de la non-considération des attributs selon le niveau de certitude, il est nécessaire de compléter le test de cohérence par un test de rationalité. Ce dernier permet de vérifier si l'individu maximise son utilité selon la fréquence de non-considération des attributs et de la certitude. Ce test consiste à mettre dans les ensembles de choix, une alternative strictement préférée. Si un individu sélectionne cette alternative, cela veut dire qu'il ne maximise pas son utilité. À partir de la littérature, nous savons que les individus incertains sont irrationnels ainsi que ceux qui ne considèrent pas tous les attributs. Par contre nous n'avons pas de preuve de rationalité pour un individu certain qui n'ont pas considéré les attributs. Étant donné que cette question de validation n'est pas dans le questionnaire, nous ne pouvons pas tester la rationalité ainsi les résultats obtenus sur l'interaction entre la non-considération des attributs et la certitude sont à relativiser.

Dans le chapitre 5, nous avons dû restreindre le nombre d'années à 2012 et à 2015 correspondant aux données disponibles dans les statistiques de l'OCDE. Nous n'avons pas des données de long terme sur l'impact des prix du carbone sur le bien-être subjectif. Nos effets marginaux étant faible, il faut relativiser les recommandations politiques.

Les travaux futurs à partir de la thèse pourraient être la compréhension plus approfondie du rôle de la psychologie des individus dans les modèles de choix expérimentaux. En effet, d'autres anomalies psychologiques pourraient affecter la VAP et par conséquent les politiques environnementales.

RÉFÉRENCES

- Adamczyk, J. et Tiede, D. (2017). *Zonalmetrics-apython toolbox for zonal landscape structure analysis*. Computers & geosciences, 99 :91–99.
- Alemu, M. H., Mørkbak, M. R., Olsen, S. B. et Jensen, C. L. (2013). *Attending to the reasons for attribute non-attendance in choice experiments*. Environmental and resource economics, 54(3): 333–359.
- Alesina, A., Di Tella, R. et MacCulloch, R. (2004). *Inequality and happiness: are europeans and americans different?* Journal of public economics, 88(9-10) :2009–2042.
- Allen, S. K., Plattner, G., Nauels, A., Xia, Y., Qin, D. et Stocker, T. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. an overview of the working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (ipcc)*. AGUFGM, 2013: GC51A–0949.
- Antrop, M. (2005). *Why landscapes of the past are important for the future*. Landscape and urban planning, 70(1-2) :21–34.
- Appleton, J. (1996). *The experience of landscape*. Wiley Chichester.
- Appleton, K. et Lovett, A. (2003). *Gis-based visualisation of rural landscapes: defining “sufficient” realism for environmental decision-making*. Landscape and Urban Planning, 65(3) :117–131.
- ArcGIS, E. (2018). *Arcgis.(2018)*. Retrieved January08.

- Arentze, T., Borgers, A., Timmermans, H. et DelMistro, R. (2003). *Transport stated choice responses: effects of task complexity, presentation format and literacy*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 39(3):229–244.
- Barroso, F. L., Pinto-Correia, T., Ramos, I. L., Surová, D. et Menezes, H. (2012). *Dealing with landscape fuzziness in user preference studies: Photo-based questionnaires in the mediterranean context*. Landscape and Urban Planning, 104(3-4): 329–342.
- Bateman, I. J., Carson, R. T., Day, B., Hanemann, M., Hanley, N., Hett, T., Jones- Lee, M., Loomes, G., Mourato, S., Pearce, D. W. et al. (2002). *Economic valuation with stated preference techniques: A manual*. Economic valuation with stated preference techniques: a manual.
- Borresch, R., Maas, S., Schmitz, K. et Schmitz, P. M. (2009). *Modelling the value of a multifunctional landscape—a discrete choice experiment*. Rapport technique.
- Boutin, S. et Hebert, D. (2002). *Landscape ecology and forest management: developing an effective partnership*. Ecological Applications, 12(2):390–397.
- Boyce, J. K. (2018). *Carbon pricing: effectiveness and equity*. Ecological Economics, 150:52–61.
- Breed, M. D. et Moore, J. (2015). *Animal behavior*. Academic Press.
- Brouwer, R., Dekker, T., Rolfe, J. et Windle, J. (2010). *Choice certainty and consistency in repeated choice experiments*. Environmental and Resource Economics, 46(1):93– 109.

- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F. and Windhorst, W., (2009). *Landscapes' capacities to provide ecosystem services-a concept for land-cover based assessments*. Landscape online, 15, pp.1-22.
- Burley, J. B. (2006). *A quantitative method to assess aesthetic/environmental quality for spatial surface mine planning and design applications*. WSEAS Transactions on Environment and Development, 2(4):334–340.
- Cameron, T. et DeShazo, J. (2004). *A pre-choice model of individuals' propensity to attend to information*. Rapport technique, Working Paper.
- Campagne, C.S., Roche, P., Gosselin, F., Tschanz, L. et Tatoni, T., (2017). *Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability*. Ecological Indicators, 79, pp.63-72.
- Campbell, D. (2007). *Willingness to pay for rural landscape improvements: Combining mixed logit and random-effects models*. Journal of agricultural economics, 58(3):467–483.
- Campbell, D. (2008). *Identification and analysis of discontinuous preferences in discrete choice experiments*. In European Association of Environmental and Resource Economists Annual Conference Gothenburg, Sweden, pages 25–28.
- Campbell, D., Hutchinson, W. G. et Scarpa, R. (2008). *Incorporating discontinuous preferences into the analysis of discrete choice experiments*. Environmental and resource economics, 41(3):401–417.
- Campbell, D. et Lorimer, V. S. (2009). *Accommodating attribute processing strategies in stated choice analysis: do respondents do what they say they do*.

- Campiglio, E. (2016). *Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy*. Ecological Economics, 121 :220–230.
- Caputo, V., Nayga Jr, M. R., Sacchi, G. et Scarpa, R. (2016). *Attribute non- attendance or attribute-level non-attendance? a choice experiment application on extra virgin olive oil*. Rapport technique.
- Carlsson, F., Frykblom, P. et Liljenstolpe, C. (2003). *Valuing wetland attributes: an application of choice experiments*. Ecological economics, 47(1) :95–103.
- Carlsson, F., Kataria, M. et Lampi, E. (2010). *Dealing with ignored attributes in choice experiments on valuation of Sweden's environmental quality objectives*. Environmental and resource economics, 47(1) :65–89.
- Casado-Arzuaga, I., Onaindia, M., Madariaga, I. et Verburg, P. (2013). *Mapping recreation and aesthetic value of ecosystems in the Bilbao metropolitan greenbelt (Northern Spain) to support landscape planning*. Landscape Ecology, 29.
- Caussade, S., de Dios Ortúzar, J., Rizzi, L. I. et Hensher, D. A. (2005). *Assessing the influence of design dimensions on stated choice experiment estimates*. Transportation research part B: Methodological, 39(7):621–640.
- Champ, P. A., Bishop, R. C., Brown, T. C. et McCollum, D. W. (1997). *Using donation mechanisms to value non-use benefits from public goods*. Journal of environmental economics and management, 33(2) :151–162.
- Chung, C., Boyer, T. et Han, S. (2011). *How many choice sets and alternatives are optimal? consistency in choice experiments*. Agribusiness, 27(1) :114–125.

- Clark, A. E. et Oswald, A. J. (1994). *Unhappiness and unemployment*. The Economic Journal, 104(424) :648–659.
- Danthurebandara, V., Yu, J. et Vandebroek, M. (2015). *Designing choice experiments by optimizing the complexity level to individual abilities*. Quantitative Marketing and Economics, 13(1):1–26.
- De Neve, J.-E., Ward, G., De Keulenaer, F., Van Landeghem, B., Kavetsos, G. et Norton, M. I. (2018). *The asymmetric experience of positive and negative economic growth: Global evidence using subjective well-being data*. Review of Economics and Statistics, 100(2):362–375.
- De Palma, A., Myers, G. M. et Papageorgiou, Y. Y. (1994). *Rational choice under an imperfect ability to choose*. The American Economic Review, pages 419–440.
- Dekker, T., Hess, S., Brouwer, R. et Hofkes, M. (2016). *Decision uncertainty in multi-attribute stated preference studies*. Resource and Energy Economics, 43:57–73.
- Dellaert, B. G., Donkers, B. et Van Soest, A. (2012). *Complexity effects in choice experiment-based models*. Journal of Marketing Research, 49(3):424–434.
- Deschenes, O. (2011). *Climate policy and labor markets*. In The design and implementation of US climate policy, pages 37–49. University of Chicago Press.
- DeShazo, J. et Fermo, G. (2002). *Designing choice sets for stated preference methods: the effects of complexity on choice consistency*. Journal of Environmental Economics and management, 44(1):123–143.

- DeShazo, J. et Fermo, G. (2004). *Implications of rationally adaptive pre-choice behavior for the design and estimation of choice models*. University of California, Los Angeles.
- Dolphin, G., Pollitt, M. G. et Newbery, D. (2016). *The political economy of carbon pricing: a panel analysis*.
- Domínguez-Torreiro, M. et Soliño, M. (2011). *Provided and perceived status quo in choice experiments: Implications for valuing the outputs of multifunctional rural areas*. *Ecological Economics*, 70(12):2523–2531.
- Dramstad, W. E., Tveit, M. S., Fjellstad, W. et Fry, G. L. (2006). *Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure*. *Landscape and urban planning*, 78(4):465–474.
- Eklou, K. et Fall, M. (2020). *The (subjective) well-being cost of fiscal policy shocks*. IMF Working Paper, (20/5).
- Federmeier, K. D. (2018). *Psychology of learning and motivation*, volume 69. Academic Press.
- Ferrer-i Carbonell, A. et Frijters, P. (2004). *How important is methodology for the estimates of the determinants of happiness?* *The Economic Journal*, 114(497) :641–659.
- FitzRoy, F., Franz-Vasdeki, J. et Papyrakis, E. (2012). *Climate change policy and subjective well-being*. *Environmental Policy and Governance*, 22(3):205–216.

FMI (2017). World economic outlook. *seeking sustainable growth: Short-term recovery, long-term challenges*.

for Economic Co-operation, O. et Development (2011). *How's life? measuring well-being*. OECD Paris.

Frey, B. S., Luechinger, S. et Stutzer, A. (2009). *The life satisfaction approach to valuing public goods: The case of terrorism*. Public Choice, 138(3-4):317–345.

Frey, B. S., Luechinger, S. et Stutzer, A. (2010). *The life satisfaction approach to environmental valuation*. Annu. Rev. Resour. Econ., 2(1):139–160.

Fry, G., Tveit, M., Ode, Å. et Velarde, M. (2009). *The ecology of visual landscapes: Exploring the conceptual common ground of visual and ecological landscape indicators*. Ecological indicators, 9(5):933–947.

Gabaix, X. et Laibson, D. (2005). Bounded rationality and directed cognition. Harvard University.

Galiani, S., Gertler, P. J. et Undurraga, R. (2018). *The half-life of happiness: Hedonic adaptation in the subjective well-being of poor slum dwellers to the satisfaction of basic housing needs*. Journal of the European Economic Association, 16(4) :1189–1233.

Gerdtham, U.-G. et Johannesson, M. (2001). *The relationship between happiness, health, and socio-economic factors: results based on Swedish microdata*. The Journal of Socio-Economics, 30(6):553–557.

Gigerenzer, G. et Brighton, H. (2009). Homo heuristics: *Why biased minds make better inferences*. Topics in cognitive science, 1(1) :107–143.

- Gilovich, T., Griffin, D. et Kahneman, D. (2002). *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment*. Cambridge University Press.
- Green, P. E. et Srinivasan, V. (1990). *Conjoint analysis in marketing research : New developments and directions*. *Journal of Marketing*, 54(4) :3.
- Green, P. E., Wind, Y. et Claycamp, H. J. (1975). *Brand-features congruence mapping*. *Journal of Marketing Research*, 12(3) :306–313.
- Grondin, P. (2010). *Comparaison des paysages forestiers actuels et des paysages forestiers naturels du Sud de la forêt boréale du Québec à des fins d'aménagement écosystémique*. Ministère des ressources naturelles et de la faune.
- Grondin, P., Jean, N. I. et Hotte, D. (2007). *Intégration de la végétation et de ses variables explicatives à des fins de classification et de cartographie d'unités homogènes du Québec méridional*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.
- Group, I. W. et al. (2013). *Technical update on the social cost of carbon for regulatory impact analysis-under executive order 12866*. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government.
- Gu, Y., Hole, A. R., Knox, S. et al. (2013). *Fitting the generalized multinomial logit model in Stata*. *Stata J*, 13(2):382–397.
- Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Bangalore, M. et Rozenberg, J. (2016). *Unbreakable: building the resilience of the poor in the face of natural disasters*. World Bank Publications.

- Harrison, K. (2013). *The political economy of British Columbia's Carbon tax*.
- Hawkins, D. N. et Booth, A. (2005). *Unhappily ever after: Effects of long-term, low-quality marriages on well-being*. Social Forces, 84(1) :451–471.
- He, C. et Gao, Z. (2015). *Do picture labels give better idea to customers? A comparison of picture labels to traditional text describe labels in choice experiments*. Rapport technique.
- He, J., Dupras, J. et G. Poder, T. (2017). The value of wetlands in Quebec: a comparison between contingent valuation and choice experiment. Journal of Environmental Economics and Policy, 6(1) :51–78.
- Hensher, D. A. (2004). Identifying the influence of stated choice design dimensionality on willingness to pay for travel time savings. Journal of Transport Economics and Policy (JTEP), 38(3):425–446.
- Hensher, D. A., Rose, J. et Greene, W. H. (2005). The implications on willingness to pay of respondents ignoring specific attributes. Transportation, 32(3) :203–222.
- Hole AR. 2007. *Fitting mixed logit models by using maximum simulated likelihood*. The Stata Journal 7: 388-401.
- Hoffman, R. E. et Palmer, J. F. (1995). Validity of using photographs to simulate visible qualities of forest recreation environments. In : Vander Stoep, Gail A., ed. Proceedings of the 1994 Northeastern Recreation Research Symposium ; 1994 April 10-12 ; Saratoga Springs, NY. : Gen. Tech. Rep. NE-198. Radnor, PA : US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 83-89, volume 198.

- Hoyos, D. (2010). The state of the art of environmental valuation with discrete choice experiments. *Ecological economics*, 69(8) :1595–1603.
- Hull IV, R. B. et Stewart, W. P. (1992). Validity of photo-based scenic beauty judgments. *Journal of environmental psychology*, 12(2):101–114.
- Hurtubia, R., Guevara, A. et Donoso, P. (2015). Using images to measure qualitative attributes of public spaces through SP surveys. *Transportation Research Procedia*, 11 :460– 474.
- Hou, Y., Burkhard, B., Müller, F., (2012). *Uncertainties in landscape analysis and ecosystem service assessment*. *J. Environ. Manag.* 127, S117–S131,
- Jacobs, M. (2011). *Psychology of the visual landscape*.
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., Schneiders, A., (2015). “*Thematrix reloaded*”: a review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecol. Model.* 295, 21–30.
- Jenkins, J. D. (2014). Political economy constraints on carbon pricing policies: What are the implications for economic efficiency, environmental efficacy, and climate policy design? *Energy Policy*, 69 :467–477.
- Jonker, M. F., Donkers, B., de Bekker-Grob, E. et Stolk, E. A. (2019). *Attribute level overlap (and color coding) can reduce task complexity, improve choice consistency, and decrease the dropout rate in discrete choice experiments*. *Health economics*, 28(3):350–363.

- Junge, X., Schüpbach, B., Walter, T., Schmid, B. et Lindemann-Matthies, P. (2015). *Aesthetic quality of agricultural landscape elements in different seasonal stages in Switzerland*. *Landscape and Urban Planning*, 133 :67–77.
- Kahneman, D. et Egan, P. (2011). *Thinking, fast and slow*, volume 1. Farrar, Straus and Giroux New York.
- Kang, K. (2016). *Policy influence and private returns from lobbying in the energy sector*. *The Review of Economic Studies*, 83(1): 269–305.
- Kaplan, R. et Kaplan, S. (1989). *The experience of nature : A psychological perspective*. CUP Archive.
- Kaplan, R., Kaplan, S. et Brown, T. (1989). *Environmental preference: A comparison of four domains of predictors*. *Environment and behavior*, 21(5) :509–530.
- Karmanov, D. (2009). *Feeling the landscape: six psychological studies into landscape experience*.
- Kaymaz, I. C. (2012). *Landscape perception*. In *Landscape planning*. InTech.
- Kellert, S. R. et Wilson, E. O. (1995). *The biophilia hypothesis*. Island Press.
- Kienast, F., Bolliger, J., Potschin, M., De Groot, R. S., Verburg, P. H., Heller, I., Wascher, D. et Haines-Young, R. (2009). *Assessing landscape functions with broad-scale environmental data: insights gained from a prototype development for Europe*. *Environmental management*, 44(6): 1099–1120.
- Kosenius, A.-K. (2009). *Causes of response uncertainty and its implications for WTP estimation in choice experiments*. *Discussion Papers*, (29).

- Kosenius, A.-K. (2013). *Preference discontinuity in choice experiment: Determinants and implications*. The Journal of Socio-Economics, 45:138–145.
- Lancaster, K. J. (1966). *A new approach to consumer theory*. Journal of political economy, 74(2):132–157.
- Lancsar, E. et Louviere, J. (2006). *Deleting? irrational? responses from discrete choice experiments: a case of investigating or imposing preferences?* Health Economics, 15(8): 797 ?811.
- Laumann, K., Gärling, T. et Stormark, K. M. (2001). *Rating scale measures of restorative components of environments*. Journal of Environmental Psychology, 21(1): 31–44.
- Levinson, A. (2012). *Valuing public goods using happiness data: The case of air quality*. Journal of Public Economics, 96(9-10):869–880.
- Li, C.-Z. et Mattsson, L. (1995). *Discrete choice under preference uncertainty: an improved structural model for contingent valuation*. Journal of Environmental Economics and Management, 28(2):256–269.
- Li, X. et Lin, Y. (2019). *Do high-voltage power transmission lines affect forest landscape and vegetation growth: Evidence from a case for South-Eastern of China*. Forests, 10(2): 162.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A. et Swait, J. D. (2000). *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge university press.

- Luechinger, S. et Raschky, P. A. (2009). *Valuing flood disasters using the life satisfaction approach*. Journal of Public Economics, 93(3-4): 620–633.
- Lundhede, T. H., Olsen, S. B., Jacobsen, J. B. et Thorsen, B. J. (2009). *Handling respondent uncertainty in choice experiments: evaluating recoding approaches against explicit modelling of uncertainty*. Journal of Choice Modelling, 2(2): 118–147.
- Mann, H.B. and Whitney, D.R., 1947. *On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other*. The annals of mathematical statistics, pp.50-60.
- Manning, R. E. et Freimund, W. A. (2004). *Use of visual research methods to measure standards of quality for parks and outdoor recreation*. Journal of leisure research, 36(4): 557– 579.
- Martignon, L. et Hoffrage, U. (2002). *Fast, frugal, and fit : Simple heuristics for paired comparison*. Theory and Decision, 52(1):29–71.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D., Green, J. R. et al. (1995). *Microeconomic theory*, volume 1. Oxford University press New York.
- Mattmann, M., Logar, I. et Brouwer, R. (2018). *Choice certainty, consistency, and monotonicity in discrete choice experiments*. Journal of Environmental Economics and Policy, pages 1–19.
- McFadden, D. et al. (1973). *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior*.

- McIntosh, E. et Ryan, M. (2002). *Using discrete choice experiments to derive welfare estimates the provision of elective surgery: implications of discontinuous preferences*. Journal of Economic Psychology, 23(3):367–382.
- McKittrick, R. (2016). *A practical guide to the economics of carbon pricing*. SPP Research Papers, 9(28).
- McPhearson, T., Kremer, P., Hamstead, Z.a., (2013). *Mapping ecosystem services in New York City: applying a social-ecological approach in urban vacant land*. Ecosyst. Serv.5, 11–26.
- Meyerhoff, J., Oehlmann, M. et Weller, P. (2015). *The influence of design dimensions on stated choices in an environmental context*. Environmental and resource economics, 61(3):385–407.
- Moore, F. C., Obradovich, N., Lehner, F. et Baylis, P. (2019). *Rapidly declining remarkability of temperature anomalies may obscure public perception of climate change*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(11): 4905–4910.
- Mousavi, S. et Gigerenzer, G. (2017). *Heuristics are tools for uncertainty*. Homo Oeconomicus, 34(4):361–379.
- Nappi, A. (2013). *Qualité visuelle des paysages*. Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018, Fascicule 4.15. Dans Bureau du forestier en chef : pp. 231–237.
- Nicholson, M., Biegler, T. et Brook, B. W. (2011). *How carbon pricing changes the relative competitiveness of low-carbon baseload generating technologies*. Energy, 36(1):305– 313.

- Nordhaus, W. (2015). Climate clubs: *Overcoming free riding in international climate policy*. American Economic Review, 105(4):1339–70.
- Ode, Å., Fry, G., Tveit, M. S., Messenger, P. et Miller, D. (2009). *Indicators of perceived naturalness as drivers of landscape preference*. Journal of environmental management, 90(1):375–383.
- Ode, Å., Tveit, M. S. et Fry, G. (2008). *Capturing landscape visual character using indicators: touching base with landscape aesthetic theory*. Landscape research, 33(1):89– 117.
- Ode, Å. K. et Fry, G. L. (2002). *Visual aspects in urban woodland management*. Urban Forestry & Urban Greening, 1(1):15–24.
- OECD et Group, W. B. (2015). The faster principles for successful carbon pricing: An approach based on initial experience.
- Olsen, S. B., Lundhede, T. H., Jacobsen, J. B. et Thorsen, B. J. (2011). *Tough and easy choices: testing the influence of utility difference on stated certainty-in-choice in choice experiments*. Environmental and Resource Economics, 49(4):491– 510.
- Ord, J. K. et Getis, A. (1995). *Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application*. Geographical analysis, 27(4):286–306.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P. et al. (2014). *Climate change 2014 : synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc.

- Palmer, J. F. (2004). *Using spatial metrics to predict scenic perception in a changing landscape: Dennis, Massachusetts*. Landscape and urban Planning, 69(23):201–218.
- Panagopoulos, T. (2009). *Linking forestry, sustainability and aesthetics*. Ecological Economics, 68(10): 2485–2489.
- Pâquet, J. et Bélanger, L. (1997). *Public acceptability thresholds of clearcutting to maintain visual quality of boreal balsam fir landscapes*. Forest Science, 43(1): 46–55.
- Pâquet, J. et Bélanger, L. (1998). *Stratégie d'aménagement pour l'intégration visuelle des coupes dans les paysages*. CAP naturels.
- Patterson, Z., Darbani, J. M., Rezaei, A., Zacharias, J. et Yazdizadeh, A. (2017). *Comparing text-only and virtual reality discrete choice experiments of neighbourhood choice*. Landscape and Urban Planning, 157 :63–74.
- Pattillo, C., Mauro, P., Parry, I., Baunsgaard, T., Gbohoui, W., Lam, R., Mylonas, V., Raissi, M., Shah, A. et Shang, B. (2019). *IMF Fiscal Monitor : How to Mitigate Climate Change, October 2019*.
- Payne, J. W., Bettman, J. R. et Johnson, E. J. (1993). *The adaptive decision maker*. Cambridge university press.
- Poder, T. G., Dupras, J., Ndefo, F. F. et He, J. (2016). *The economic value of the Greater Montreal blue network (Quebec, Canada): a contingent choice study using real projects to estimate non-market aquatic ecosystem services benefits*. PloS one, 11(8).

- Puckett, S. M. et Hensher, D. A. (2009). *Revealing the extent of process heterogeneity in choice analysis: An empirical assessment*. Transportation Research Part A : Policy and Practice, 43(2): 117–126.
- Rambonilaza, M. et Dachary-Bernard, J. (2007). *Land-use planning and public preferences: What can we learn from choice experiment method?* Landscape and urban planning, 83(4): 318–326.
- Ramstein, C., Dominioni, G., Ettehad, S., Lam, L., Quant, M., Zhang, J., Mark, L., Nierop, S., Berg, T., Leuschner, P. et al. (2019). *State and Trends of Carbon Pricing 2019*. The World Bank.
- Ready, R. C., Navrud, S. et Dubourg, W. R. (2001). *How do respondents with uncertain willingness to pay answer contingent valuation questions?* Land economics, 77(3) : 315–326.
- Regier, D. A., Sicsic, J. et Watson, V. (2019). *Choice certainty and deliberative thinking in discrete choice experiments. a theoretical and empirical investigation*. Journal of Economic Behavior & Organization, 164:235–255.
- Regier, D. A., Watson, V., Burnett, H. et Ungar, W. J. (2014). *Task complexity and response certainty in discrete choice experiments: an application to drug treatments for juvenile idiopathic arthritis*. Journal of Behavioral and Experimental Economics, 50:40–49.
- Rekola, M. (2003). *Lexicographic preferences in contingent valuation: a theoretical framework with illustrations*. Land Economics, 79(2):277–291.

- Ribe, R. G. (1989). *The aesthetics of forestry: what has empirical preference research taught us?* Environmental management, 13(1):55–74.
- Rigaud, K. K., de Sherbinin, A., Jones, B., Bergmann, J., Clement, V., Ober, K., Schewe, J., Adamo, S., McCusker, B., Heuser, S. et al. (2018). Groundswell.
- Rosenberger, R. S., Peterson, G. L., Clarke, A. et Brown, T. C. (2003). *Measuring dispositions for lexicographic preferences of environmental goods: integrating economics, psychology and ethics*. Ecological Economics, 44(1):63–76.
- Sælensminde, K. (2006). *Causes and consequences of lexicographic choices in stated choice studies*. Ecological Economics, 59(3) : 331–340.
- Santos, G. (2017). *Road transport and co2 emissions: What are the challenges?* Transport Policy, 59 :71–74.
- Schellnhuber, H. J., Hare, W., Serdeczny, O., Adams, S., Coumou, D., Frieler, K., Martin, M., Otto, I. M., Perrette, M. et Robinson, A. (2012). *Turn down the heat: why a 4 c warmer world must be avoided*.
- Schirpke, U., Tasser, E. et Tappeiner, U. (2013). *Predicting scenic beauty of mountain regions*. Landscape and Urban Planning, 111:1–12.
- Shaikh, S. L., Sun, L. et van Kooten, G. C. (2007). *Treating respondent uncertainty in contingent valuation: a comparison of empirical treatments*. Ecological Economics, 62(1): 115–125.
- Shr, Y.-H. J., Ready, R., Orland, B. et Echols, S. (2019). *How do visual representations influence survey responses ? evidence from a choice experiment on landscape attributes of green infrastructure*. Ecological economics, 156 : 375–386.

Silva, J., De Keulenaer, F. et Johnstone, N. (2012). *Environmental quality and life satisfaction*.

Silvera, D. H., Josephs, R. A. et Giesler, R. B. (2002). *Bigger is better: The influence of physical size on aesthetic preference judgments*. Journal of Behavioral Decision Making, 15(3):189–202.

Simon, H. (1955). *A behavioral model of rational choice*. The Quarterly Journal of Economics, 69(1): 99–118.

Simonič, T. (2003). *Preference and perceived naturalness in visual perception of naturalistic landscapes*. Zb Bioteh Fak Univ Ljublj Kmet, 81: 369–387.

Squire, L. R., Dronkers, N. et Baldo, J. (2009). *Encyclopedia of neuroscience*. Elsevier.

Stiglitz, J. E., Stern, N., Duan, M., Edenhofer, O., Giraud, G., Heal, G. M., la Rovere, E. L., Morris, A., Moyer, E., Pangestu, M. et al. (2017). *Report of the high-level commission on carbon prices*.

Swait, J. (2001). *A non-compensatory choice model incorporating attribute cutoffs*. Transportation Research Part B : Methodological, 35(10):903–928.

Swait, J. et Adamowicz, W. (2001). *Choice environment, market complexity, and consumer behavior: a theoretical and empirical approach for incorporating decision complexity into models of consumer choice*. Organizational behavior and human decision processes, 86(2):141–167.

- Tagliafierro, C., Longo, A., Van Eetvelde, V., Antrop, M. et Hutchinson, W. G. (2013). *Landscape economic valuation by integrating landscape ecology into landscape economics*. Environmental science & policy, 32 :26–36.
- Tang, I.-C., Tsai, Y.-P., Lin, Y.-J., Chen, J.-H., Hsieh, C.-H., Hung, S.-H., Sullivan, W. C., Tang, H.-F. et Chang, C.-Y. (2017). *Using functional magnetic resonance imaging (fmri) to analyze brain region activity when viewing landscapes*. Landscape and Urban Planning, 162:137–144.
- Tempesta, T., Vecchiato, D. et Girardi, P. (2014). *The landscape benefits of the burial of high voltage power lines: A study in rural areas of Italy*. Landscape and Urban Planning, 126: 53–64.
- Torres, I., Greene, M. et Ortúzar, J. d. D. (2013). *Valuation of housing and neighbourhood attributes for city centre location: A case study in Santiago*. Habitat International, 39: 62–74.
- Train KE. 2003. *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Train, K. et Weeks, M., (2005). *Discrete choice models in preference space and willingness-to-pay space*. In Applications of simulation methods in environmental and resource economics (pp. 1-16). Springer, Dordrecht.
- Tversky, A. et Kahneman, D. (1974). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Science, 185(4157):1124–1131.
- Uggeldahl, K., Jacobsen, C., Lundhede, T. H. et Olsen, S. B. (2016). *Choice certainty in discrete choice experiments: Will eye tracking provide useful measures?* Journal of choice modelling, 20 :35–48.

- Ulrich, R. S. (1993). *Biophilia, biophobia, and natural landscapes*. The biophilia hypothesis, 7 :73–137.
- Van Zanten, B. T., Verburg, P. H., Scholte, S. S. et Tieskens, K. F. (2016a). *Using choice modeling to map aesthetic values at a landscape scale: Lessons from a Dutch case study*. Ecological Economics, 130:221–231.
- Van Zanten, B.T., Van Berkel, D.B., Meentemeyer, R.K., Smith, J.W., Tieskens, K.F. and Verburg, P.H., (2016b). *Continental-scale quantification of landscape values using social media data*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(46), pp.12974-12979.
- Vecchiato, D. et Tempesta, T. (2013). *Valuing the benefits of an afforestation project in a peri-urban area with choice experiments*. Forest Policy and Economics, 26:111 ?120.
- Veldwijk, J., Lambooij, M. S., van Til, J. A., Groothuis-Oudshoorn, C. G., Smit, H. A. et de Wit, G. A. (2015). *Words or graphics to present a discrete choice experiment: Does it matter?* Patient education and counseling, 98(11): 1376–1384.
- von Möllendorff, C. et Hirschfeld, J. (2016). *Measuring impacts of extreme weather events using the life satisfaction approach*. Ecological Economics, 121:108–116.
- Wang, H. (1997). *Treatment of "don't-know" responses in contingent valuation surveys: a random valuation model*. Journal of Environmental Economics and Management, 32(2):219– 232.

Welsch, H. et Kühling, J. (2009). Using happiness data for environmental valuation : issues and applications. *Journal of Economic Surveys*, 23(2) :385–406.

Willemen, L., Verburg, P. H., Hein, L. et van Mensvoort, M. E. (2008). *Spatial characterization of landscape functions*. *Landscape and urban planning*, 88(1) :34–43.

Yip, C. M. et al. (2018). *On the labor market consequences of environmental taxes*. *Journal of Environmental Economics and Management*, 89(C):136–152.

Yu, J. et Mallory, M. L. (2014). *Exchange rate effect on carbon credit price via energy markets*. *Journal of International Money and Finance*, 47 : 145–161.

Zoderer, B. M., Tasser, E., Carver, S. et Tappeiner, U. (2019). *An integrated method for the mapping of landscape preferences at the regional scale*. *Ecological indicators*, 106 : 105430.

Zhu, X., Pfueller, S., Whitelaw, P., Winter, C., 2010. *Spatial differentiation of landscape values in the Murray River region of Victoria, Australia*. *Environ. Manag.* 45, 896–911.

ANNEXES A – CHAPITRE 1 : TEST « PLACEBO »

Dans le tableau 34, nous proposons de tester si la photo a un effet causal sur la préférence de l'individu. En effet, nous allons déterminer si la différence de préférences entre les échantillons de contrôle et de traitement est due à la présence de photo mais non à des variables inobservables. De ce fait, nous allons créer un échantillon placebo et un échantillon de contrôle dans laquelle nous allons assigner de manière aléatoire un traitement qui a la même caractéristique que l'échantillon avec la photo. L'échantillon créé artificiellement à la même moyenne et les mêmes écart-types que les échantillons de contrôle et de traitement. Ainsi, la variable « placebo¹⁰⁴ » égale 1 si l'individu a reçu un traitement artificiel sans lien avec la présence ou non de photo. Si l'interaction entre la variable « placebo » et les attributs de l'esthétique du paysage est non significatif alors l'effet placebo est rejeté.

Ainsi, c'est la présence de photo qui affecte la préférence des individus par rapport à l'échantillon de contrôle, Si l'interaction entre la variable « placebo » et les attributs est significatif alors n'importe quel traitement aléatoire pourrait avoir un effet par rapport à l'échantillon de contrôle, Alors, l'effet de la photo ne pourrait pas être identifiable,

Le tableau 34 montre que les interactions entre la variable « placebo » et les attributs sont non significatifs quelles que soient le modèle d'estimation choisi entre le MNL et la RPL, De ce fait, le traitement de la photo mesurée dans le tableau 5 est en effet un impact causal en d'autres termes, la différence entre l'échantillon avec photo et sans photo n'est pas due à des variables inobservables qui pourraient altérer l'effet du traitement par rapport au groupe de contrôle.

¹⁰⁴ La variable muette « placebo » suit une distribution uniforme dont la moyenne et l'écart-type est contrainte pour qu'elle soit identique avec l'échantillon de contrôle et de traitement.

Tableau 34: Évaluation de l'esthétique du paysage : « effet placebo »

	MNL		RPL	
	Coef	Erreur-type	Coef	Erreur-type
	(1)	(2)	(3)	(4)
Coefficient				
ASC	0,293	(0,182)	0,026	(0,250)
ASC*placebo	0,042	(0,190)	0,054	(0,249)
Coût	-0,003***	(0,001)	-0,005***	(0,001)
Diversité intermédiaire	0,347***	(0,112)	0,632***	(0,148)
Diversité intermédiaire*placebo	-0,001	(0,101)	0,021	(0,132)
Diversité élevée	0,302**	(0,137)	0,678***	(0,180)
Diversité élevée*placebo	0,088	(0,136)	0,139	(0,177)
Dispersion intermédiaire	0,238*	(0,122)	0,457***	(0,158)
Dispersion intermédiaire*placebo	-0,069	(0,112)	-0,087	(0,144)
Dispersion élevée	0,241*	(0,131)	0,498***	(0,175)
Dispersion élevée*placebo	-0,147	(0,109)	-0,177	(0,141)
Naturalité semi	0,528***	(0,121)	0,905***	(0,159)
Naturalité semi*placebo	0,052	(0,108)	0,089	(0,138)
Naturalité intacte	0,970***	(0,143)	1,423***	(0,203)
Naturalité intacte*placebo	0,061	(0,124)	0,153	(0,178)
Absence de perturbation	0,610***	(0,111)	0,777***	(0,148)
Absence de perturbation*placebo	0,055	(0,121)	-0,055	(0,156)
Écart-type				
ASC			2,133***	(0,099)
ASC*placebo			0,143	(0,147)
Coût			0,008***	(0,002)
Diversité intermédiaire			0,090	(0,109)
Diversité intermédiaire*placebo			0,168	(0,126)
Diversité élevée			0,243	(0,232)
Diversité élevée*placebo			0,132	(0,145)
Dispersion intermédiaire			0,020	(0,114)
Dispersion intermédiaire*placebo			0,010	(0,096)
Dispersion élevée			0,202	(0,198)
Dispersion élevée*placebo			0,162	(0,171)
Naturalité semi			0,763***	(0,140)
Naturalité semi*placebo			0,086	(0,212)
Naturalité intacte			1,041***	(0,217)
Naturalité intacte*placebo			1,149***	(0,229)
Absence de perturbation			0,910***	(0,093)
Absence de perturbation*placebo			0,003	(0,154)
Observations	17964		17964	
Nbre de répondants	998		998	

Notes : Résultats tirés de l'équation 2 selon l'absence ou la présence de placebo¹⁰⁵

Source : Fall (2020)

¹⁰⁵ Notes : Les erreurs-types robustes sont en parenthèse. Photo est une variable muette égale à si l'individu est confronté à une photo lors de l'enquête. Le niveau faible est la référence. * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. La variable « placebo » assigne une valeur de 1 aux individus de manière aléatoire

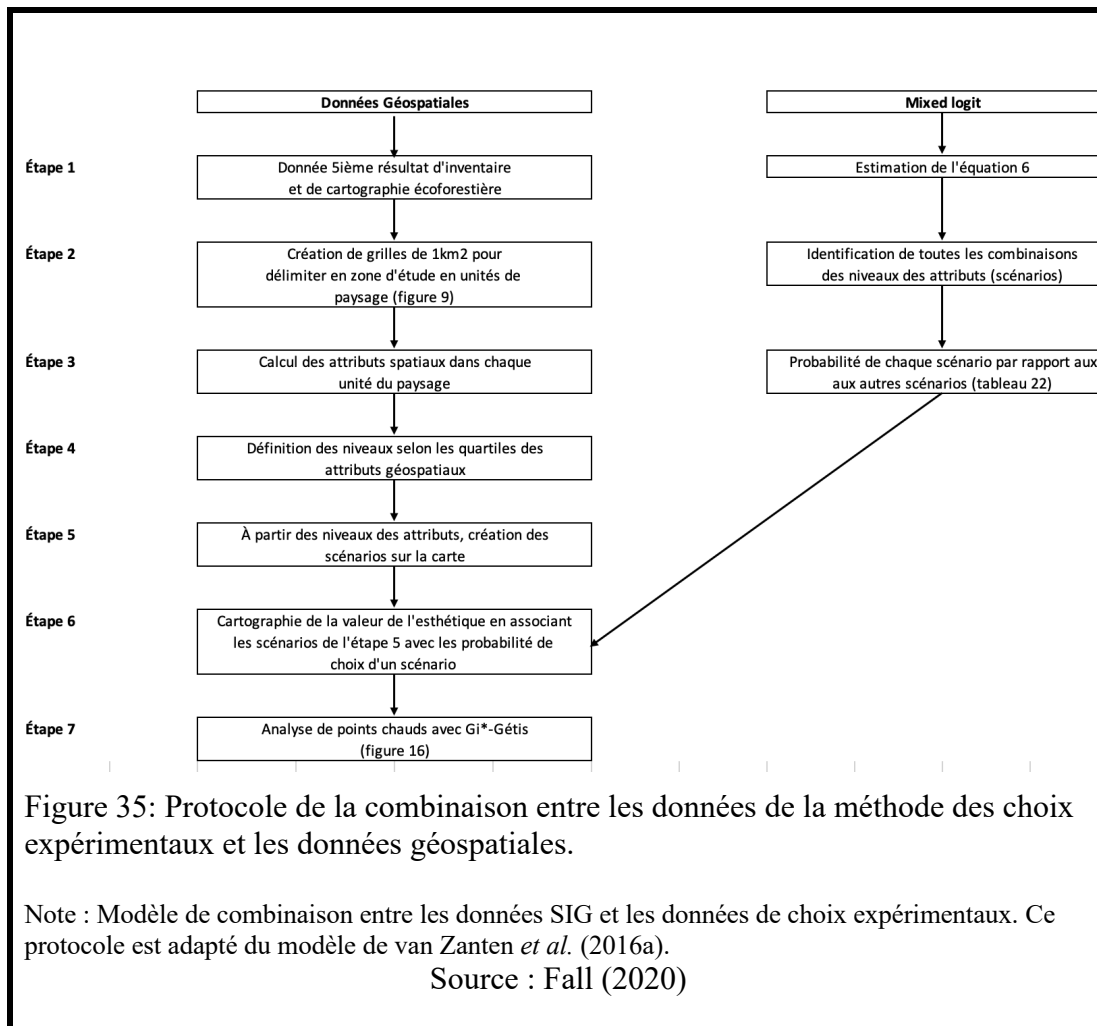


Figure 35: Protocole de la combinaison entre les données de la méthode des choix expérimentaux et les données géospatiales.

Note : Modèle de combinaison entre les données SIG et les données de choix expérimentaux. Ce protocole est adapté du modèle de van Zanten *et al.* (2016a).

Source : Fall (2020)

Calcul de la statistique *Getis-G_i^{*}*

Les statistiques *Getis-G_i^{*}* se calcule de la manière suivante :

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} z_j - \bar{Z} \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n \omega_{i,j})^2}{n-1}}} \quad \text{Éq. 40}$$

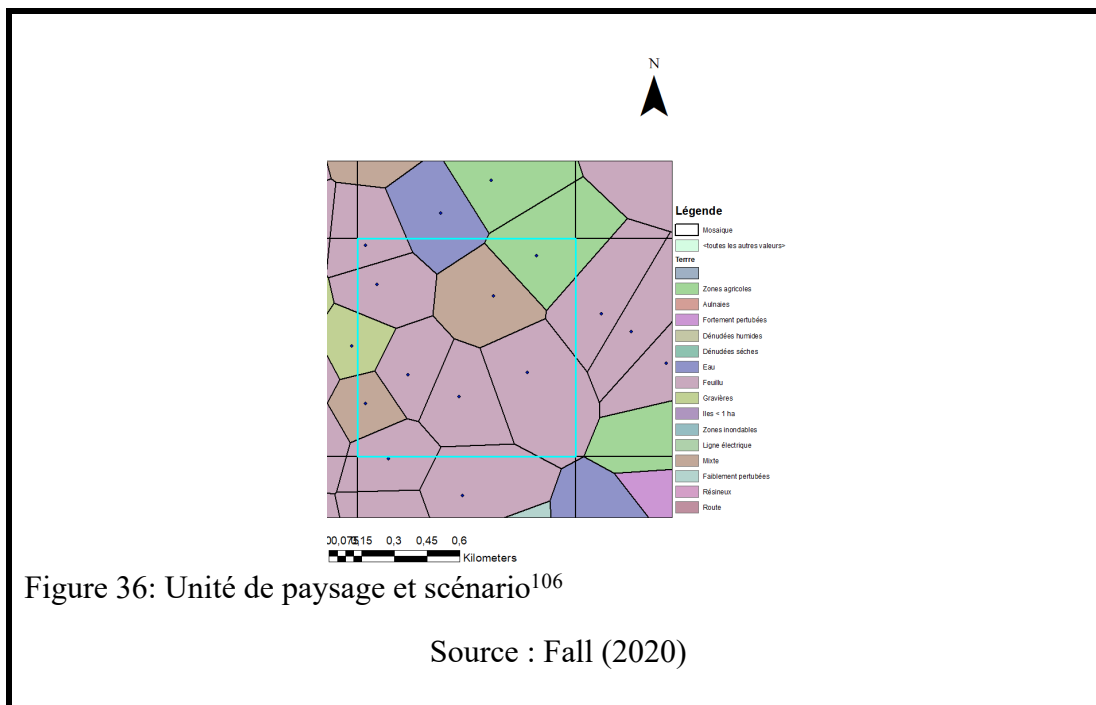
$$\bar{Z} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad \text{Éq. 41}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \bar{Z}^2} \quad \text{Éq. 42}$$

Avec $\omega_{i,j}$ une matrice spatiale de poids mesurant la distance entre les entités ou unités de paysage i et j. z_j est la valeur de l'entité j (c.-à-d. la probabilité que l'unité j soit choisie parmi toutes les autres unités de paysage dans le site d'étude), n est le nombre d'entité. \bar{Z} et S sont respectivement la moyenne des valeurs des entités et leur écart-types. Les p-values et la statistique G_i^* permet de rejeter ou non l'hypothèse nulle selon laquelle les processus aléatoires sous-jacents au modèle sont aléatoires. En d'autres termes, les valeurs des entités sont assignées de manière aléatoire sur la carte. Cependant, le géographe est plutôt intéressé par les relations spatiales entre les entités afin d'extrapoler la valeur de l'esthétique du paysage à travers toute la zone d'étude. Donc si l'hypothèse H0 est rejetée alors il existe une relation spatiale entre les différentes entités qui fait que l'on observe de cluster dans laquelle la valeur des entités sont significativement positives les entités (forte probabilité d'être choisie par les répondants) ou négative (forte probabilité de ne pas être choisie par les répondants).

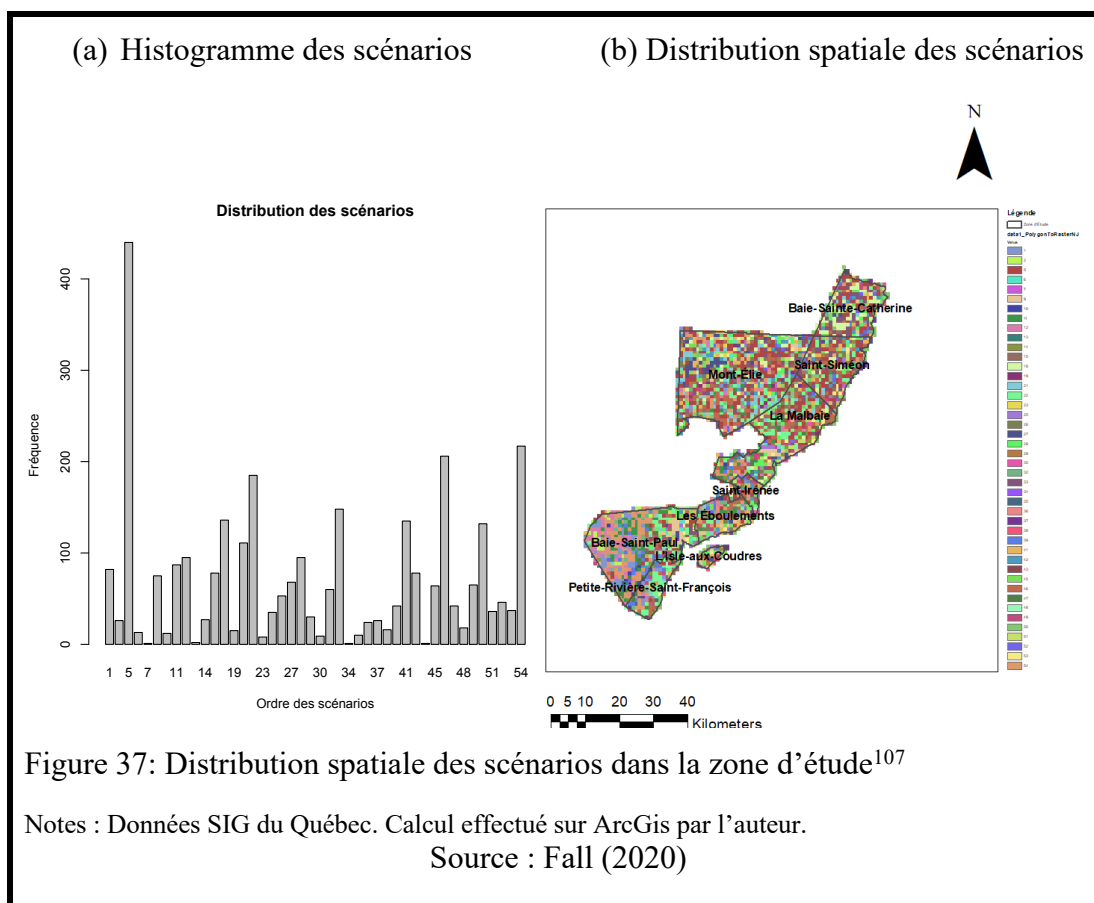
Représentation spatiale des scénarios

Pour cartographier la valeur de l'esthétique du paysage définie à partir de la probabilité de choisir un scénario (tableau 10), il faudrait déterminer les scénarios correspondant à chaque unité de paysage pour l'associer avec les probabilités.



Pour cela, nous avons utilisé les niveaux des attributs spatiaux pour calculer les scénarios. La figure 36 montre un exemple de scénario dans une unité de paysage à partir des niveaux des attributs.

¹⁰⁶ SHDI=1.03141 (=2.8 couvertures différentes), ED=104372.6489, éléments encombrants=0 ha, couverture forestière=85.041%. Scénario : Diversité=2, Dispersion=1, Perturbation=0, naturalité=2. Les points représentent les centroïdes des polygones. La couverture de terre est prise en compte dans le calcul des attributs si son centroïde est dans l'unité du paysage.

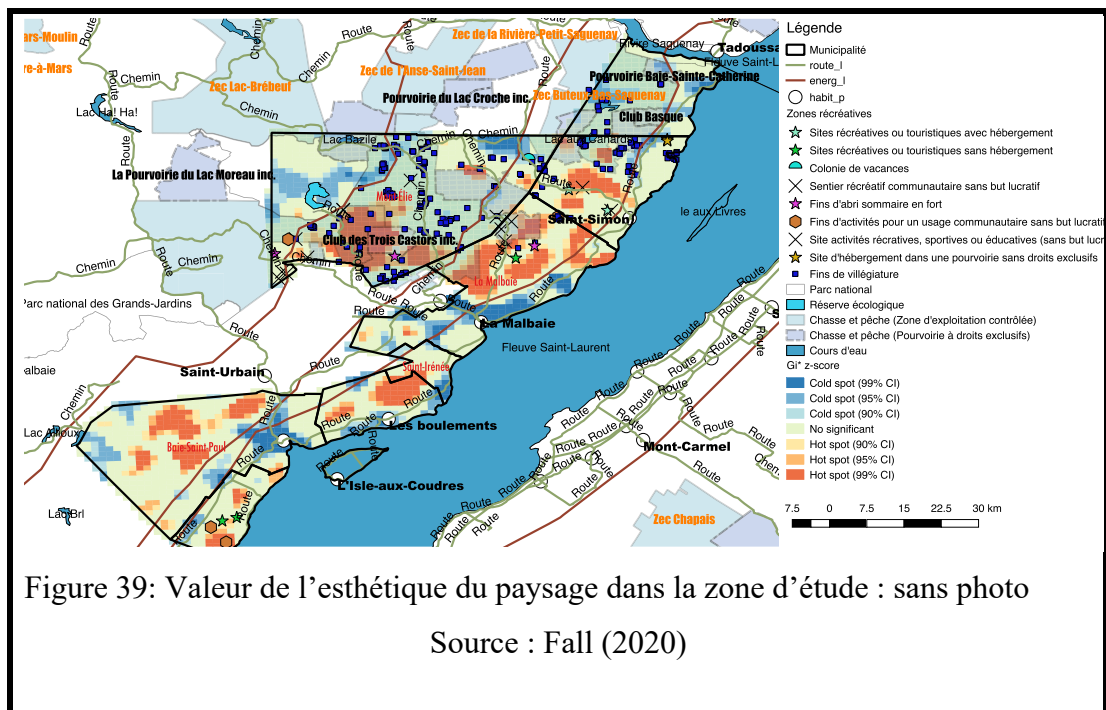
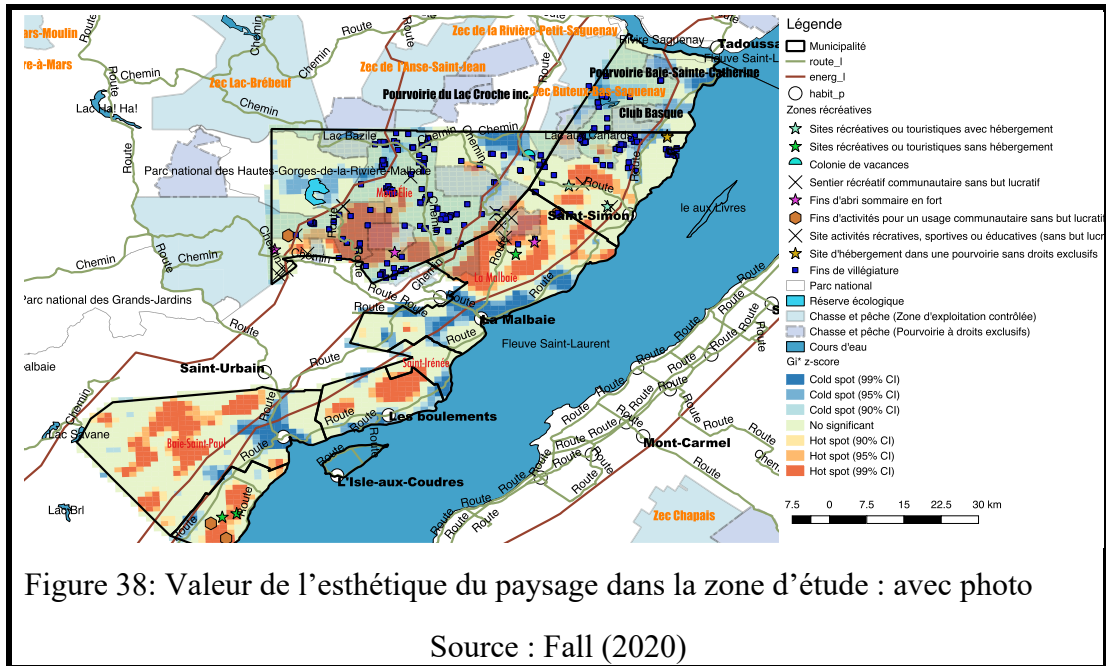


La figure 37 montre la fréquence des scénarios dans notre zone d'étude. Le scénario 5¹⁰⁸ est le plus présent dans la zone d'étude. Après avoir relié les scénarios dans chaque unité de paysage, nous les associons aux probabilités dans chaque unité du paysage en appliquant une analyse focale.

¹⁰⁷ La figure 37A donne l'information sur la fréquence des attributs dans la zone d'étude et la figure 37B montre la distribution spatiale des scénarios. Les numéros représentent chaque type de scénario (voir tableau 10) pour la correspondance entre les numéros et les scénarios

¹⁰⁸ Absence de perturbation, diversité intermédiaire, dispersion intermédiaire, naturalité sémi

Représentation de la valeur de l'esthétique du paysage dans la zone d'étude



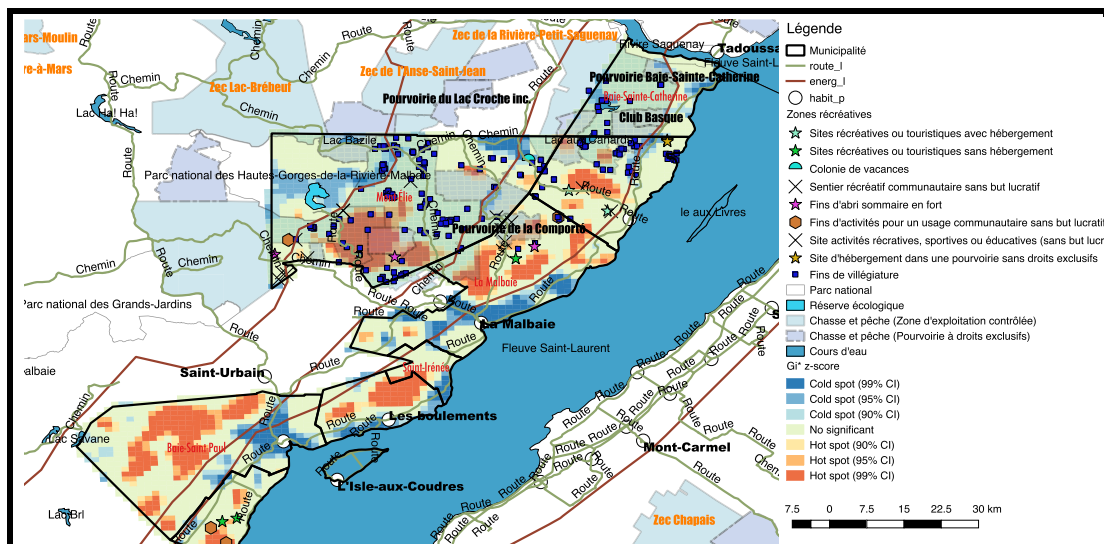


Figure 40: Valeur de l'esthétique du paysage: avec photo été

Source : Fall (2020)

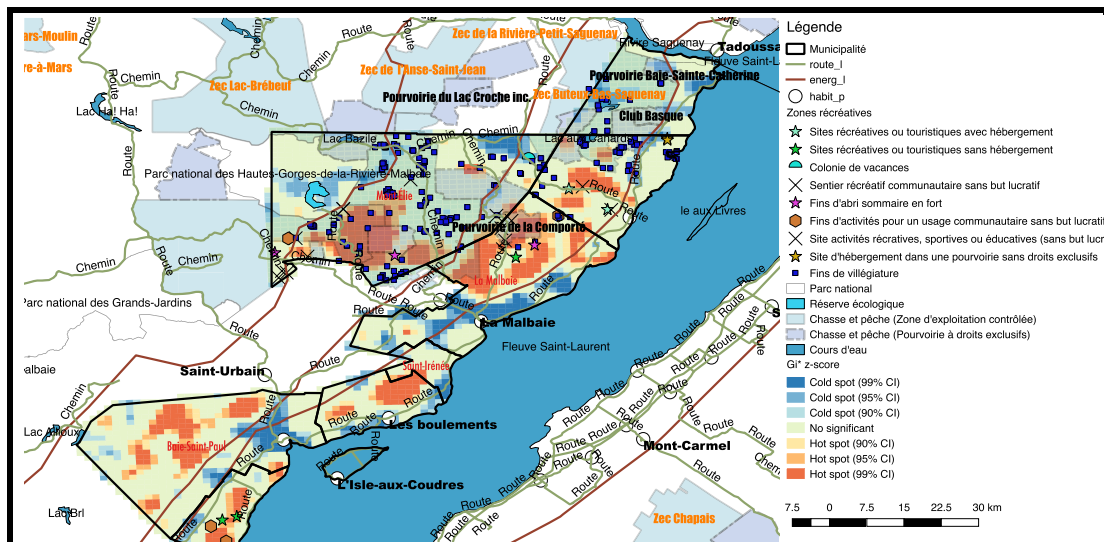
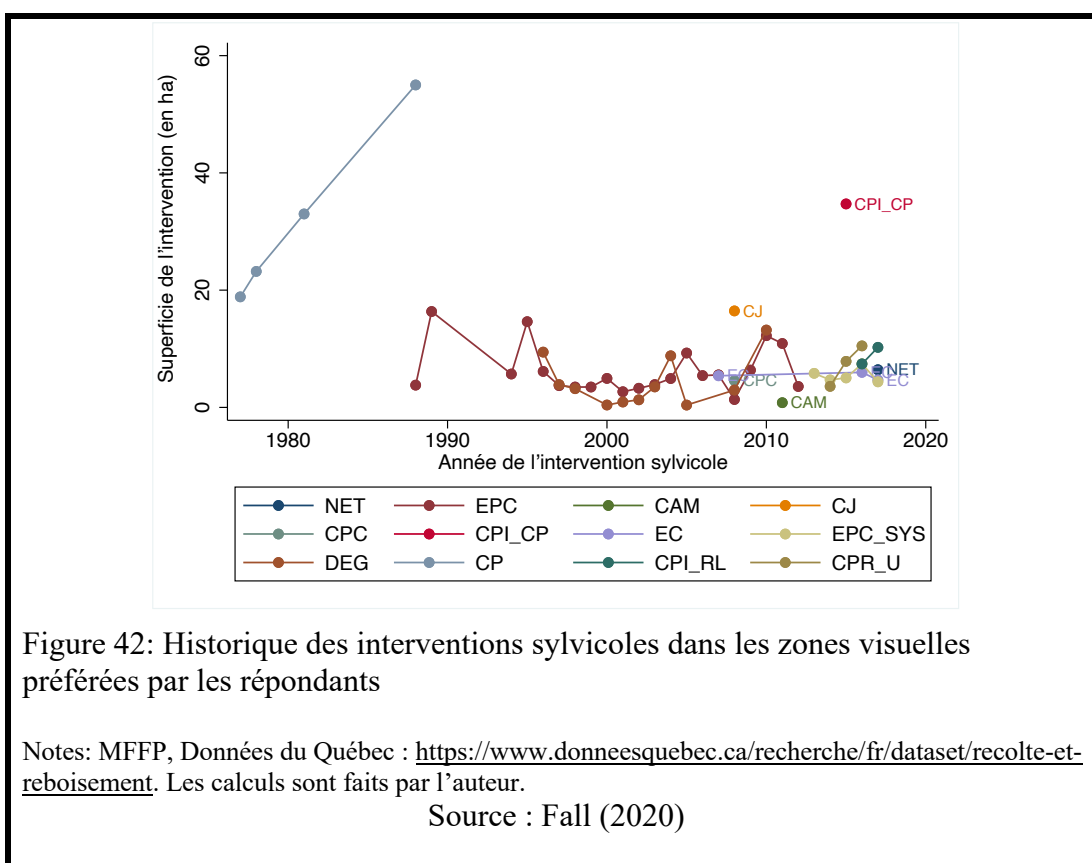


Figure 41: Valeur de l'esthétique du paysage : avec photo d'automne

Source : Fall (2020)

Historique des interventions sylvicoles de 1980 à 2015

La figure 42 montre que les types de traitements sylvicoles les plus fréquemment utilisés au cours du temps sont les coupes partielles (CP), les éclaircies précommerciales (EPC) et les dégagements de la régénération naturelle (DEG). Plus particulièrement, les coupes partielles sont destinées à la récolte, les éclaircies précommerciales à préserver les jeunes arbres contre la concurrence d'autres arbres moins prometteurs et enfin les dégagements sont utiles à la régénération naturelle pour maîtriser la végétation concurrence et protégé les arbres à essences désirées¹⁰⁹.



109 <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/fiches/degageement-nettoisement-peuplements-resineux.pdf>

Effet des perturbations naturelles sur l'esthétique du paysage

La figure 43 retrace le rôle sur les unités du paysage, du volet des interventions sylvicoles relatives à la protection des arbres contre les perturbations naturelles c.-à-d. les feux de forêt et les épidémies légères notamment les tordeuses des bourgeons de l'épinette (TBE)¹¹⁰ sur les zones visuelles préférées. Cette carte nous montre que l'épidémie de TBE entre 1983 et 1985 a touché la plupart des zones préférées. Les feux de forêt ont particulièrement touché le Zec du Lac au Sable et la pourvoirie du Club des Trois Castor inc. La plupart de ces feux sont causés par la foudre. Les feux de forêt causés par les activités humaines sont plutôt localisés dans la Municipalité de Saint-Siméon, dans la frontière entre l'unité d'aménagement et les zones urbaines.

¹¹⁰ Insectes dévastateurs pouvant causer la mort de l'arbre en 4 ou 5 ans. Les cycles épidémiques du TBE sont d'environ 30 ans et passage dure 10 ans.

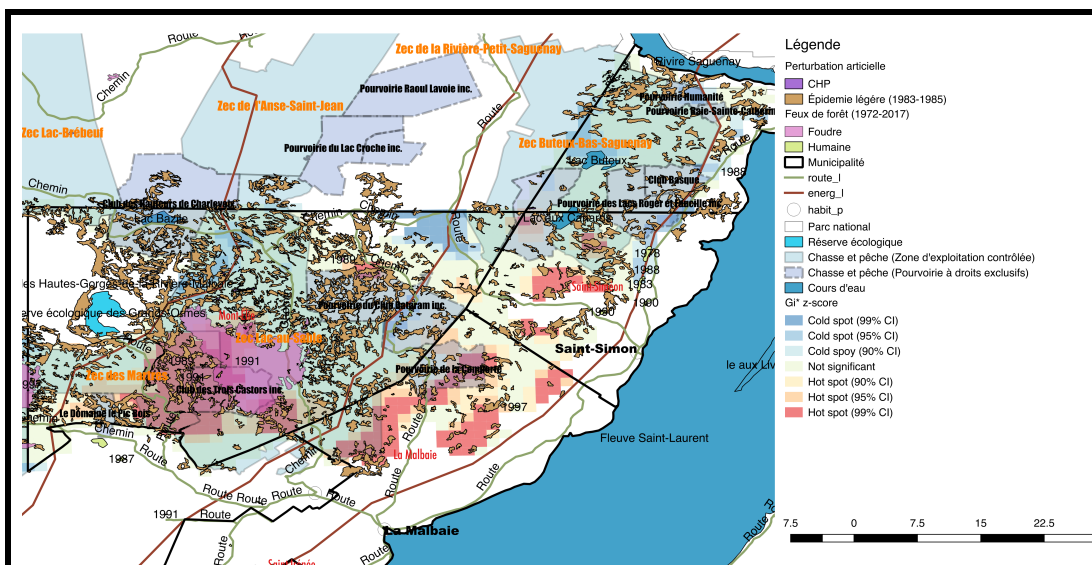


Figure 43: Valeur de l'esthétique du paysage : effet des perturbations naturelles

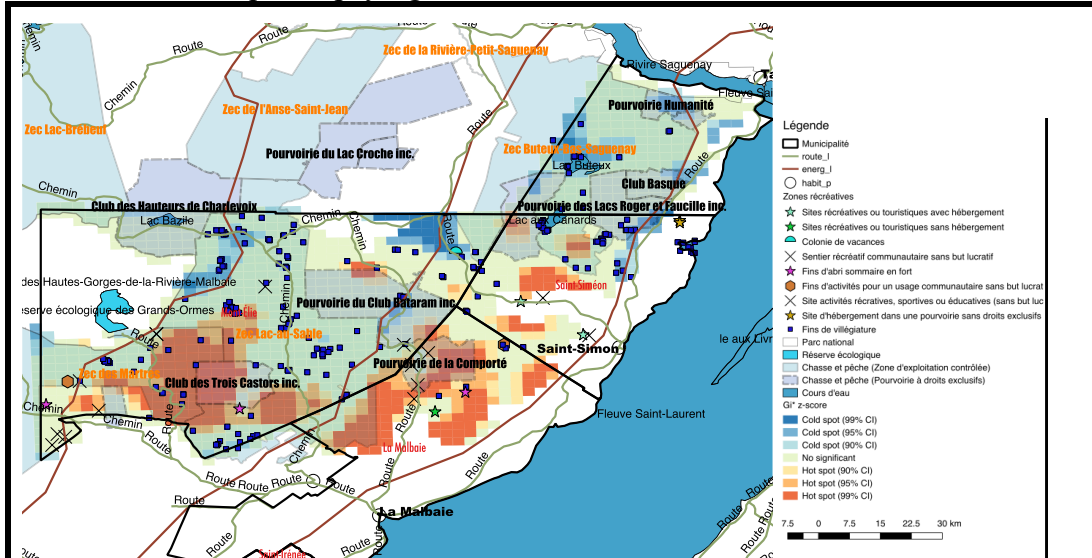
Note : Cette figure représente le chevauchement entre les feux de forêt, les épidémies naturelles et les unités de paysage. Sources : MFFP, Données du Québec :

<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/recolte-et-reboisement>

Les feux de forêt sont représentés dans les légendes par « humaine » ou « foudre »

Source : Fall (2020)

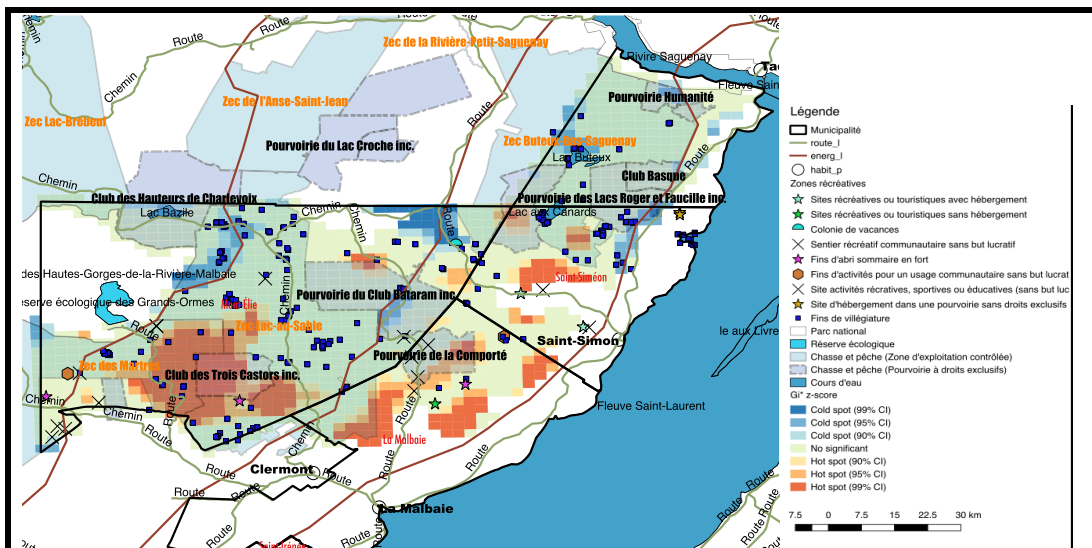
Valeur de l'esthétique du paysage selon les saisons



A : Valeur de l'esthétique du paysage : en été

Notes : Les valeurs de l'esthétiques du paysage sont calculées que pour le sous-échantillons avec photo en été pour illustrer les ensembles de choix.

Source : Fall (2020)



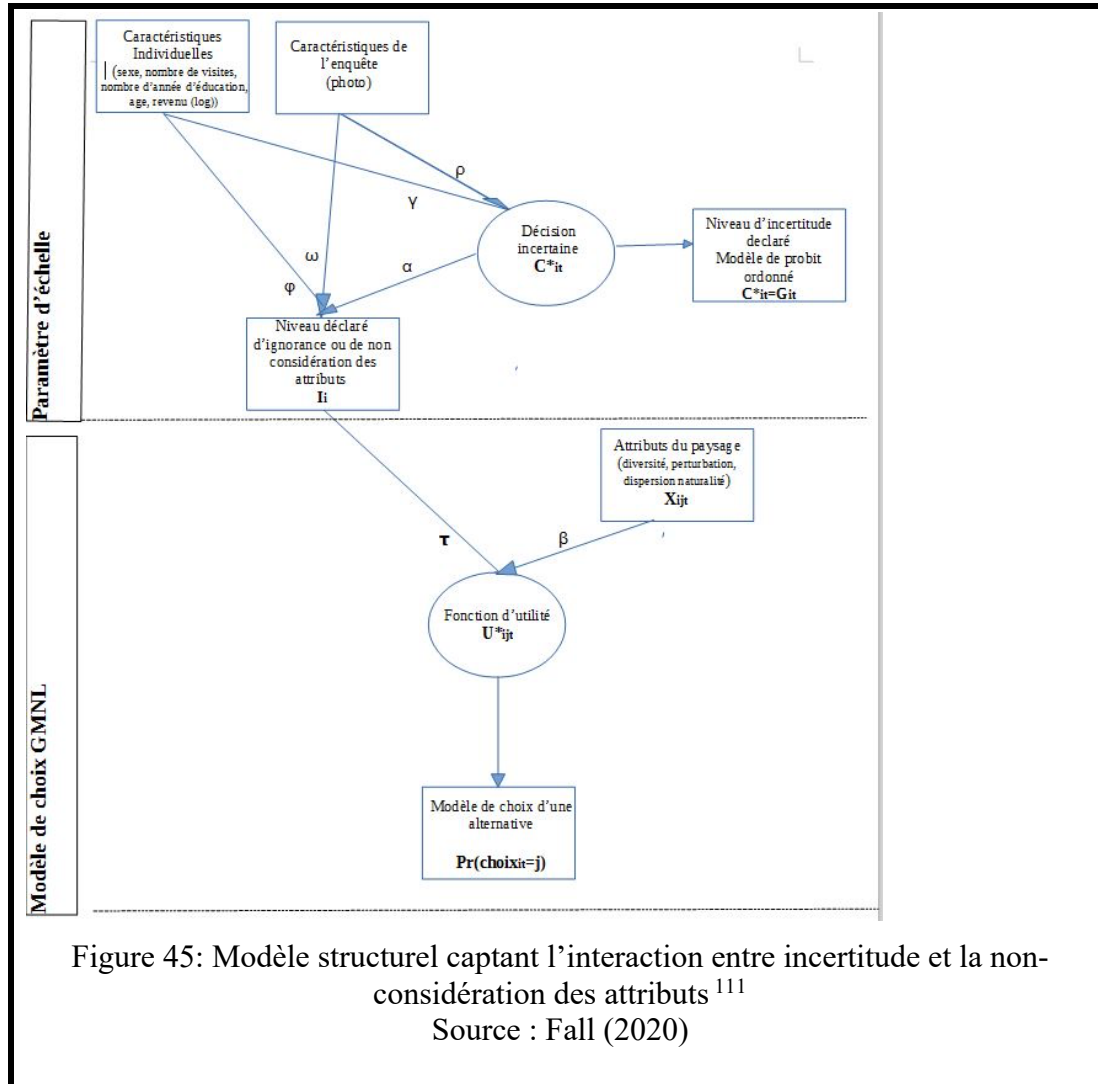
B : Valeur de l'esthétique du paysage : en automne

Figure 44: Test de robustesse avec photo d'été et avec photo d'automne

Notes : Les valeurs de l'esthétiques du paysage sont calculées que pour le sous-échantillons avec photo en automne pour illustrer les ensembles de choix.

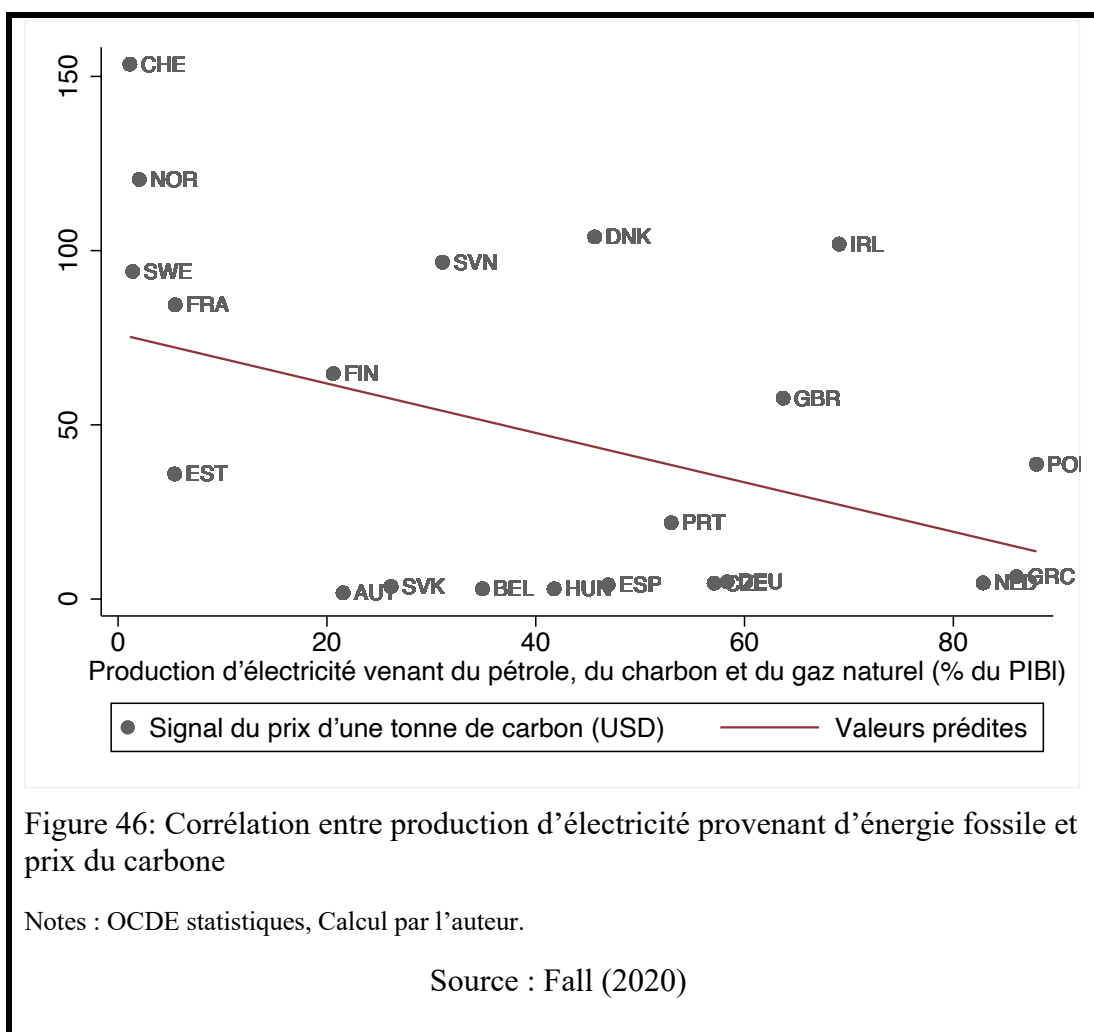
Source : Fall (2020)

ANNEXE C – DIAGRAMME DU MODÈLE STRUCTUREL DE L'INTERACTION ENTRE LA NON-CONSIDÉRATION DES ATTRIBUTS ET L'INCERTITUDE SUR LA DÉCISION



¹¹¹ Note : Ce modèle capte la décision de l'individu selon le niveau de certitude les stratégies heuristiques et les variables sociodémographiques. Les cercles sont les variables latentes inobservables. Les carrés sont les variables observables et déminées dans notre enquête. La fonction d'utilité U_{ijt}^* est affectée par deux les attributs du paysage par l'intermédiaire du paramètre β et enfin par les caractéristiques sociodémographiques, le niveau de certitude et le choix heuristiques via le paramètre τ . Ce dernier affecte la précision des réponses des individus et intervenant dans le calcul de la variance des termes d'erreur. Nous supposons la décision incertaine C_{it}^* est inobservable mais est affectée par un ensemble de variables de contrôles et les caractéristiques de l'enquêtes (absence ou présence de photo dans les ensembles de choix). C_{it}^* est déterminée via un modèle de mesure dans laquelle un modèle de probit ordonné permet d'identifier la probabilité qu'un individu appartiennent à une catégorie de certitude déterminé dans l'enquête par la variable G_{it} . G_{it} provient de la question suivante : « Êtes-vous certain de vos choix ? (1) Très incertain (2) incertain (3) Certain (4) Très certain.

ANNEXE D - DESCRIPTION DES DONNÉES DU PRIX DU CARBONE ET DE LA SATISFACTION À LA VIE



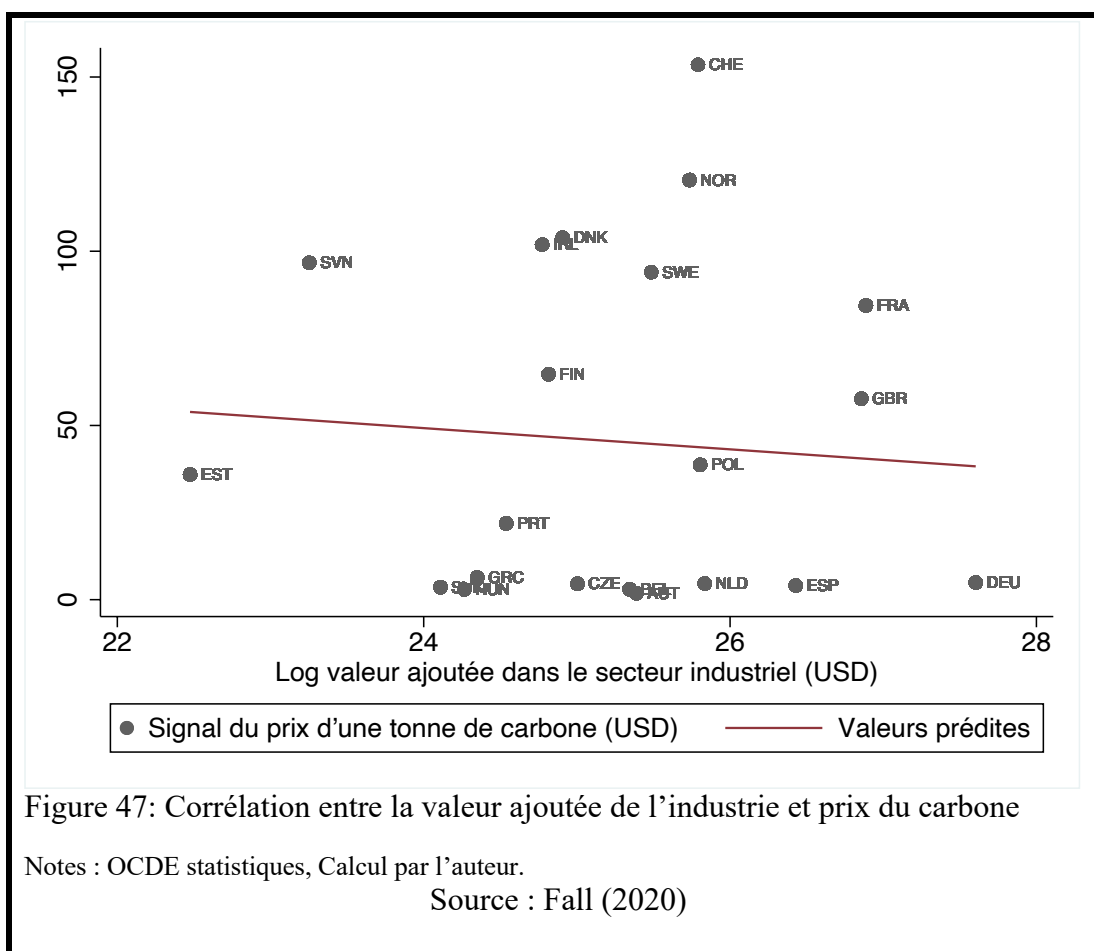


Tableau 35: Description des variables et source des données

Variable	Description	Source
Signal de taxe de carbone par secteurs (USD par tonne)		
Prix effectif du carbone (PEC)	Prix effectif du carbone (PEC) en 2012 et 2015	Rapport OCDE sur les prix effectifs du carbone en 201
Prix effectif du carbone (transport routier)	PEC dans le secteur de transport routier en 2012 et 2015	Rapport OCDE sur les prix effectifs du carbone en 201
Prix effectif du carbone (secteurs résidentiels et construction)	PEC des secteurs résidentiels et de construction en 2012 et 2015	Rapport OCDE sur les prix effectifs du carbone en 201
Prix effectif du carbone (secteur agricole, forestier et de pêche)	PEC dans les secteurs agricoles forestiers et de pêche)	Rapport OCDE sur les prix effectifs du carbone en 201
Prix effectif du carbone (secteur de production d'électricité)	PEC dans les secteurs de l'électricité (basée sur le charbon et les gaz naturels)	Rapport OCDE sur les prix effectifs du carbone en 201
Prix effectif du carbone (secteur industriel)	PEC dans le secteur industriel	Rapport OCDE sur les prix effectifs du carbone en 201
Prix effectif du carbone (secteur de transport aérien)	PEC dans le secteur de l'aviation	Rapport OCDE sur les prix effectifs du carbone en 201
Variables macroéconomiques		
Index de développement financier	Index mesurant l'accès, l'efficacité et la profondeur du système financier	Données Fond Monétaire International (FMI)
Niveau de dette	Niveau de dette du gouvernement en % du PIB	Comparative Political Data Set (CPDS)
Taxes sur le revenu et les profits	Taxes sur le revenu , sur les profits et les gains en capital en % du PIB	OCDE statistiques
Taxes sur les propriétés	Taxes sur les propriétés en % du PIB	OCDE statistiques
Taxes sur les biens et services (% du PIB)	Taxes sur les biens et services en % du PIB	OCDE statistiques
Taux d'emploi vulnérable	Les emplois vulnérables sont ceux des travailleurs familiaux non rémunérés et ceux des personnes travaillant à leur compte par rapport aux emplois totaux	World Development Indicators (WDI)
Le PIB/tête réel	Le PIB/tête réel en USD constant 2010	World Development Indicators (WDI)
Le taux de croissance réel du PIB/tête	Le taux de croissance réel du PIB/tête (en USD constant 2010)	World Development Indicators (WDI)
EU	Variable muette égale à 1 si le pays est membre de l'Union Européenne	Comparative Political Data Set (CPDS)
Taxe de carbone		
Variable muette égale à 1 si le pays applique la taxe carbone sous la convention du protocole de Kyoto		
Taux d'inflation	Le taux d'inflation est basée sur l'index des prix à la consommation Consumer Price Index	OCDE statistiques
Taux de chômage	Taux de chômage représente la part des chômeurs par rapport au total de la population active en % (Calcul Organisation Internationale du Travail)	World Development Indicators (WDI)
Indice de Gini	Variable capturant l'inégalité de revenu	World Development Indicators (WDI)
Taux de change (Monnaie nationale-USD)	Unités de monnaie locale par unité de USD pour capturer la dévaluation ou de l'appréciation	OCDE statistiques
Degré d'ouverture du compte de capital	Index sur égré d'ouverture du compte de capital	Chinn and Ito (2006)
ALMP	Politique Active sur le Marché du Travail (ALMP) capture les dépenses de réforme du marché du travail en pourcentage du PIB	Comparative Political Data Set (CPDS)
Gouvernement de droite	Pourcentage de sièges occupés par le parti au pouvoir d'orientation de droite par rapport aux sièges totaux	Comparative Political Data Set (CPDS)
Part de la production d'électricité provenant d'énergie fossile	Part de la production d'électricité provenant du pétrole, du gaz naturel et du charbon	World Development Indicators (WDI)
Variables microéconomiques		
Satisfaction de la vie	Cette variable est un proxy du bien-être subjectif. C'est une variable catégorielle de 10 niveaux basée sur la question suivante : 'Êtes-vous satisfait, [10] extrêmement satisfait [9], [8], [7], [6], [5], [4], [3], [2], [1] extrêmement insatisfait de la vie que vous menez?'	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Homme	Variable binaire égale à 1 si le répondant est un homme	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Marrié	Variable binaire égale à 1 si le répondant est marié	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Age	Age du répondant	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Importance de l'environnement	C'est une variable catégorielle recodée basée sur la question suivante : 'Quelle est l'importance de tenir compte de la nature et de l'environnement ? [6] beaucoup comme moi,[5] comme moi,[4] parfois comme moi,[3] un peu comme moi, [2] pas comme moi, [1] pas du tout comme moi'	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Nombre d'années d'éducation	Nombre d'année pour atteindre un diplôme	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Confiance aux partis politiques	Variables catégorielle de 10 niveaux capturant le degré de confiance sur les parties politiques de [10] confiance complète à [1] pas du tout confiance	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Confiance aux Nations Unies	Variables catégorielle de 10 niveaux capturant le degré de confiance aux Nations Unies de [10] confiance complète à [1] pas du tout confiance	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Confiance à l'UE	Variables catégorielle de 10 niveaux capturant le degré de confiance à l'UE de [10] confiance complète à [1] pas du tout confiance	Enquête Sociale Européenne (ESS)
Quartile du revenu	Cette variable est un proxy de la catégorie du revenu du ménage appartenant au [1] 1er quartile,[2] 2ième quartile,[3] 3ième quartile,[4] 4ième quartile,[5] 5ième quartile,[6] 6ième quartile,[7] 7ième quartile,[8] 8ième quartile,[9] 9ième quartile,[10] 10ième quartile.	Enquête Sociale Européenne (ESS)

Source : Fall (2020)

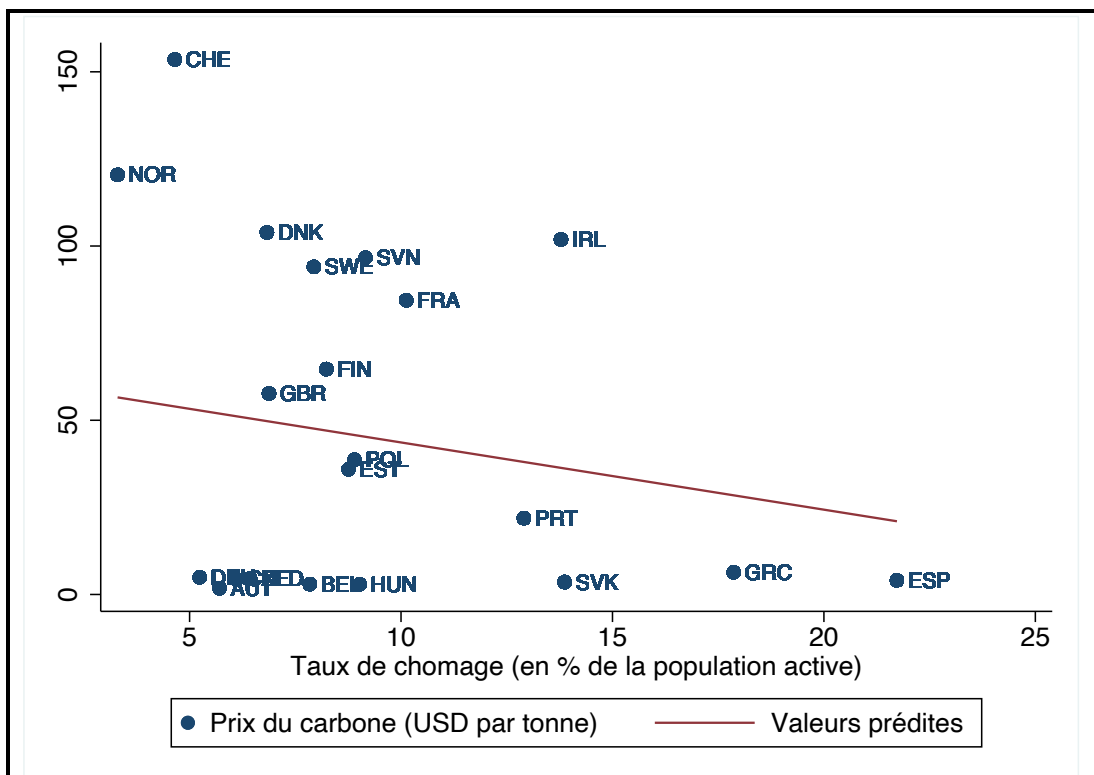


Figure 48: Corrélation entre le taux de chômage et le prix du carbone

Sources : WDI pour le taux de chômage et le rapport sur les Prix Effectifs du Carbone pour les prix du carbone

Source : Fall (2020)